

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



Ус Семён Сергеевич

**ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО
ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ БЕЗРАЗБОРНОЙ
ДИАГНОСТИКИ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ**

Специальность

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор
Кузнецов Евгений Евгеньевич

Благовещенск – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

	с
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 глава. Актуальность темы исследования и степень её разработанности. Аналитический обзор средств, методов и способов мобильного диагностирования.....	15
1.1 Наличие и качественный состав средств механизации в агропромышленном комплексе Амурской области.....	15
1.2 Формы и методы диагностирования колёсных тракторов и сельскохозяйственной техники в агропромышленном комплексе Амурской области.....	21
1.3 Структура диагностики и классификация средств определения неисправностей.....	31
1.3.1 Рекомендуемая структура диагностики (на примере машинно-тракторного агрегата (МТА)) с использованием разнонаправленных эксплуатационных приборов по проверочным рабочим блокам.....	31
1.3.2 Классификация средств определения неисправностей автомобилей...	37
1.4 Анализ способов исследования технического состояния колёсных тракторов и сельскохозяйственных машин в агропромышленном комплексе.....	40
1.5 Обзор предлагаемых методик и технических решений для исследования технического состояния колёсных тракторов в агропромышленном комплексе.....	60
1.6 Обзор приборно-диагностических комплексов для вибрационной диагностики.....	63
1.7 Обоснование выбора объекта для проверки заявленных характеристик разрабатываемого комплекса	67
1.8 Выводы.....	72

2 глава. Теоретические исследования и подбор элементов цифрового инклинометрического комплекса безразборной диагностики.....	75
2.1 Выбор низкочастотных средств диагностирования с расширенными характеристиками для формирования цифрового инклинометрического комплекса.....	75
2.2 Определение соответствия показателей, обоснование преобразования математических данных и проведение нормализации показателей для обеспечения работоспособности разрабатываемого приборного комплекса.....	88
2.3 Математическая модель и априорное ранжирование факторов эффективности ЦИКБД.....	97
2.4 Разработка программных средств синхронизации и контроля приборных датчиков ЦИКБД.....	101
2.5 Разработка установочных модулей для приборных датчиков разрабатываемого ЦИКБД.....	102
2.6 Расчёт основных показателей проведения технического обслуживания при внедрении ЦИКБД.....	108
2.7 Расчёт показателей производительности трактора при применении ЦИКБД.....	115
2.8 Выводы.....	117
3 глава. Приборно-измерительный комплекс для диагностирования технического состояния опор двигателя. Программа, алгоритмика и методика экспериментальных исследований.....	119
3.1 Обоснование замера параметров предлагаемым приборно-измерительным комплексом.....	119
3.1.1 Определение уровня вибрационной нагрузки.....	120
3.1.2 Измерение вибрационных колебаний разрабатываемым способом.....	123
3.2 Проведение экспериментальных исследований.....	124
3.3 Снятие показателей и обработка первичного сигнала ЦИКБД.....	130

3.4 Снятие показателей и обработка сигналов ЦИКБД при применении для инклинометрической диагностики опор двигателя внутреннего сгорания...	137
4 глава. Результаты проведения авторского программирования и опытных экспериментов. Техничко-экономическое обоснование проведённых исследований.....	139
4.1 Результаты проведения авторского программирования.....	139
4.2 Результаты эксперимента по диагностированию опор двигателя колёсного трактора New Holland T9.505. с применением ЦИКБД.....	143
4.3 Сравнительный анализ экспериментальных диагностических показателей.....	155
4.3.1 Сравнительный анализ параметров углового ускорения сравниваемого объекта диагностирования.....	156
4.3.2 Сравнительный анализ параметров углового ускорения экспериментального объекта диагностирования.....	161
4.4 Изготовление и производственная проверка установочных модулей для приборных датчиков разрабатываемого ЦИКБД.....	169
4.5 Техничко-экономическое обоснование проведённых исследований.....	175
4.5.1 Расчёт изготовления установочных модулей для приборных датчиков разрабатываемого ЦИКБД.....	175
4.5.2 Расчёт экономической эффективности разрабатываемого ЦИКБД.....	177
4.6 Топливно-энергетическая оценка диагностики с применением ЦИКБД.....	180
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	184
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	187
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	212

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности системы сервисного, а также планового технического обслуживания и ремонта продолжает оставаться одной из приоритетных задач в обеспечении устойчивой эксплуатационной надежности сельскохозяйственной техники. Эффективная организация этих процессов способствует минимизации временных и экономических издержек, связанных с эксплуатацией машин и оборудования, что особенно актуально и важно в условиях высокоинтенсивного использования техники в агропромышленном комплексе. Научными исследованиями доказано, что повышение качества диагностических, обслуживающих или ремонтных работ и сокращение времени реакции производственных сил на необходимость проведения технологических, или ремонтных воздействий прямо коррелируют с уменьшением простоев машин, увеличением их производительности, повышением технической готовности, а также продлением эксплуатационного срока использования машин и оборудования.

Известные в современном машиностроении приборные комплексы, предназначенные для исследования параметров и диагностирования сельскохозяйственных агрегатов, обладают как явными преимуществами, так и существенными недостатками. К наиболее значимым недостаткам можно отнести недостаточную параметральность и лимитированную направленность средств внешнего диагностирования, при этом необходимость отвлечения агрегатов от выполнения непосредственных операций, связанных с сельскохозяйственным производством, в целях установления контрольных датчиков и проведения исследований в стационарных условиях, приводит к дополнительным финансовым потерям и увеличению сроков простоя техники, снижая эффективность её применения.

Вопросам повышения эффективности диагностирования и установления граничных параметров эксплуатации машин и агрегатов в сельском хозяйстве и машиностроении посвящены работы авторов: Б.А. Гордеева, Ю.Ж. Дондокова, В.И. Полякова, А.Л. Назолина, Е.И. Аббакумова, И.Н. Ужвы, Д.А. Жданко, Н.В.

Лимаренко, В.В. Мокшина, В.В. Подовинникова, А.Г. Арженовского, С.В. Асатуряна, К.Г. Совина, Ю.В. Катаева, Е.А. Градова, В.В. Побединского, Г.Е. Кокиевой, В.Е. Колпакова, С.М. Овчаренко, А.Н. Мурашко, Н.В. Василенко, Л.И. Билык, А.А. Горбачёва, В.М. Казакова и других исследователей. Проведением стендовых испытаний на тормозных и специализированных стендах занимались такие исследователи как И. Н. Ужва, Д. А. Жданко, В. В. Мокшин, В. В. Подовинников и другие. Работы ученых А.В. Неговоры, К. Г. Совина, Ю. В. Катаева, Е. А. Градова, Н.В. Лимаренко, И.А Юхина, И.А. Успенского, В. В. Побединского, В. Е. Колпакова, С. М. Овчаренко, Г.А. Иовлева, С.В. Ляхова, И.И. Голдина направлены на исследования темы совершенствования компьютерной диагностики, применения компьютерных алгоритмов и нейронных сетей.

Разработку новых средств и приборов, предназначенных для диагностики тяговых характеристик и методов стендовых испытаний в агропромышленном комплексе осуществляли такие авторы, как А. В. Дунаев, П. А. Ильин, В.М. Шарипов, В.Н. Игнатенко, В.А. Бурмистров, В.Н. Волков, Р.С. Тимохов, В.И. Балабанов, В.В. Стрельцов, И.Б. Тришкин. Расширение методов классической диагностики рассмотрено следующими исследователями: В.А. Аллилуевым, В.И. Бельских, Н.С. Ждановским, В.А. Змановским, А.В. Неговорой, В.М. Михлиным, А.В. Николаенко, С.Н. Ольшевским, А.В. Серовым, К.Ю. Скибневским, С.В. Хабардиным. Виброакустическим и пирометрическим способам диагностики посвятили свои работы А.Н. Мурашко, Н.В. Василенко, Л.И. Билык, А.А. Горбачёв, В.М. Казаков, Р.Н. Абдряшитов. Тепловая диагностика рассматривалась в работах авторов: Г.А. Курмашева, В.П. Денисова, А.П. Домбровского, В.М. Янзина, А.Н. Карташевича, Е.П. Тимашова.

В связи с чем, основываясь на анализе научных работ и ранее проведённых исследований, актуальности рассматриваемой тематики для современного рационального и бережливого производства была предложена **гипотеза исследований**-современные высокоточные цифровые приборы, обладающие расширенным диапазоном измеряемых показателей, могут быть использованы для позиционирования исследуемого объекта в пространстве, измерения его

колебательных величин и показателей физических полей в движении, в целях фиксации измеряемых параметров и получения исчерпывающих сведений о техническом состоянии, что позволит осуществить мобильную безразборную диагностику технического состояния объекта проверки, снизить экономические издержки и повысить эффективность диагностирования в сельскохозяйственном производстве.

Для подтверждения гипотезы, формирования объекта, предмета, направлений и задач исследования определена **цель работы** – обоснование и разработка нового высокоэффективного цифрового приборно-диагностического комплекса, выполненного на базе высокоточных цифровых инклинометров-акселерометров.

И сформулированы задачи исследования:

1. Изучить современное состояние средств и способов мобильного диагностирования, обозначить направления совершенствования приборно-диагностической базы сельскохозяйственных предприятий и определить категорию современных высокоточных цифровых приборов, обладающих соответствующими диапазонами измеряемых показателей, для применения в качестве диагностического оборудования.

2. Теоретически обосновать возможности применения высокоточных цифровых инклинометров-акселерометров, обладающих расширенным диапазоном измеряемых показателей, для осуществления безразборной мобильной диагностики технического состояния энергетических средств;

3. Провести подбор элементов и изготовить новый высокоэффективный приборно-диагностический комплекс, выполненный на базе высокоточных цифровых инклинометров-акселерометров;

4. Разработать программное и техническое обеспечение предлагаемого комплекса, способствующее получению, хранению и обработке информации об объекте диагностики;

5. Провести экспериментальную проверку предлагаемых технических и программных решений в производственных условиях, дать технико-экономическую и энергетическую оценку проводимых исследований.

Объект исследования – технологические и конструктивные характеристики разрабатываемого цифрового приборно-диагностического комплекса.

Предмет исследования – изучение процесса безразборного диагностирования при применении разработанного цифрового приборно-диагностического комплекса (на примере определения технического состояния опор двигателя трактора).

Научная новизна

- Обосновано использование цифровых приборов- инклинометров-акселерометров для осуществления безразборной диагностики, измерения и фиксации параметров агрегатов и систем энергетических средств в движении и изготовлен новый высокоэффективный приборно-диагностический комплекс, выполненный на базе высокоточных цифровых инклинометров-акселерометров;

-Определены направления разработки способов диагностирования технического состояния автотракторной техники с использованием предлагаемого диагностического приборного комплекса, выполненного на базе высокоточных цифровых инклинометров-акселерометров;

-Разработано программное и техническое обеспечение для нового инклинометрического приборно-диагностического комплекса, способствующее получению, хранению и обработке информации об объекте диагностики;

-Сформированы алгоритмы, способствующие определению параметров исследуемого объекта, позволяющие провести сравнительный анализ с эталонными показателями и содействующие принятию верного управленческого решения.

Новизна и оригинальность применённого математического и формульного аппарата защищена свидетельствами РФ на программы для ЭВМ «Программа для комплекса безразборной вибрационной диагностики ВИБРУМ» № 2025662808, «Программа для инклинометрической диагностики кривошипно-шатунного

механизма двигателя внутреннего сгорания» № 2025669818, «Программа для инклинометрической диагностики газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания» № 2025680051, «Программа для инклинометрической диагностики опор двигателя внутреннего сгорания» № 2025680379, «Программа получения экспериментальных данных модернизированного колёсного агрегата при использовании инклинометрического комплекса» № 2025683722, «Программа инклинометрической проверки качества сборки колёсного технологического агрегата, прошедшего капитальный ремонт» № 2025684379.

Теоретическая и практическая значимость работы. Определена категория современных высокоточных цифровых приборов, обладающих соответствующими диапазонами измеряемых показателей для применения в качестве диагностического оборудования. Теоретически обоснованы и экспериментально проверены в реальных условиях производственной эксплуатации новые подходы, доказывающие эффективность применения способов исследования технического состояния трактора с использованием нового приборно-диагностического комплекса, выполненного на базе высокоточных цифровых инклинометров-акселерометров (на примере определения технического состояния опор двигателя трактора).

Установлено, что применение нового приборно-диагностического комплекса, выполненного на базе высокоточных цифровых инклинометров-акселерометров позволяет с наименьшими материальными затратами осуществить безразборную мобильную диагностику (на примере определения технического состояния опор двигателя трактора), что даёт возможность осуществления рационального планирования процессов технического обслуживания и ремонта, своевременного заказа подлежащих ремонту или замене деталей, без отрыва техники от выполнения производственных задач. Что, в целом повысит эффективность и ресурсобеспеченность сельскохозяйственного производства региона.

Новый приборно-диагностический комплекс и программное обеспечение носят унифицированный характер и могут быть использованы для контроля

состояния работающих узлов, машин, отдельных агрегатов и механизмов. В перспективе проводимые научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в обозначенном направлении позволят внести изменения в существующую систему производственных способов проверки и фиксации параметров объекта диагностирования, расширить методику исследований сложных восстанавливаемых объектов сельскохозяйственного и промышленного машиностроения.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований успешно внедрены и применяются в АО «ЛУЧ» (с. Ивановка, Ивановского района), ООО «Амурагрокомплекс» (г. Благовещенск), ООО «Анновское» (с. Анновка, Ивановского района), ООО «Диагностика», АО «Дальтимбермаш» (г. Благовещенск), ООО "СПЕЦМАШВОСТОК" (г. Благовещенск). Предложения по усовершенствованию способов исследования технического состояния колёсного трактора и автомобилей используются в учебном процессе на кафедре эксплуатации и ремонта транспортно-технологических машин и комплексов, кафедре транспортно-энергетических средств и механизации АПК факультета механизации сельского хозяйства ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ при преподавании профильных дисциплин и в научной работе.

Методология и методы исследования. Исследования по теме диссертации выполнены в ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ в соответствии с научно-технической программой:

- на 2021-2025 г.г. тема 8 - «Мобильная энергетика» ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, номер государственной регистрации № 121022000099-61.

Тематика исследования доложена, обсуждена и получила одобрение на реализацию научной работы по гранту «Студенческий Стартап (очередь V)» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере ГНО Фонд содействия инновациям, договор № 4496ГССС15-L/99613 от 12.12.2024. 22.08.2025 получен АКТ о выполнении обязательств по договору.

Теоретические исследования современного состояния средств мобильного диагностирования, поиск способов совершенствования приборно-диагностической

базы предприятий и определение категории современных высокоточных цифровых приборов, обладающих соответствующими диапазонами измеряемых показателей для применения в качестве диагностического оборудования проведены с использованием метода парных сравнений, системы взвешенных критериев, анализа SWOT, алгоритмики Байеса с использованием фильтра Калмана.

В исследованиях использован математический аппарат линейного программирования и вариационного исчисления, процесс создания и модификации компьютерных программ, трёхмерное моделирование и алгоритмическое проектирование.

Экспериментальные исследования проведены в реальных условиях производственной эксплуатации. Полученные экспериментальные данные обработаны в соответствии с современными методами теории вероятностей, математической статистики и планирования экспериментальных исследований с применением специализированных программ «Blender», «Sigma Plot 15.0», «Python» «Mathcad» и «Компас 3D V23» и авторских программных продуктов.

Основные положения, выносимые на защиту:

- аналитические зависимости, позволяющие рассчитать эффективность приборного комплекса, выполненного на базе высокоточных цифровых инклинометров-акселерометров, на единичную и потоковую диагностическую технологическую операцию;
- математическая модель, характеризующая влияние предложенных высокоточных цифровых инклинометров-акселерометров на основные технологические параметры диагностического комплекса и закономерности, обосновывающие снижение временных затрат и расширение параметров диагностирования;
- конструктивное изготовление, техническое оснащение и программные средства, обеспечивающие рабочие характеристики предлагаемого устройства;
- результаты производственной проверки предлагаемого способа диагностики в реальных условиях эксплуатации, расчёт экономической и энергетической эффективности.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных данных подтверждается значительной степенью сходимости теоретических и экспериментальных исследований, результатами лабораторно-полевых испытаний, проведённых с достаточным количеством опытов и применением программно-аппаратного комплекса, обеспечивающего требуемую точность измерений, обработкой опытных данных методами математической статистики с использованием специализированных математических программ на ПЭВМ, в соответствии с поставленными целью, задачами, выбором объекта, предмета, способностью воспроизводимости результатов в типичных условиях, высокими экономическими показателями внедрения и производственного применения предложенных методологических и технических решений, программных средств и рекомендаций в эксплуатационных условиях, а также использованием результатов исследований конструкторскими, образовательными и другими организациями.

Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на тематических научных конференциях международного, национального и регионального уровней, проводимых в период 2021-2025 г.г.: XXII региональная научно-практическая конференция «Молодёжь XXI века: шаг в будущее», (2021 г., г. Благовещенск, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ); всероссийская научно-практическая конференция, Актуальные вопросы развития аграрного сектора экономики Байкальского региона, (2021 г., г. Улан-Удэ); XXIII региональная научно-практическая конференция «Молодёжь XXI века: шаг в будущее», (2022 г., г. Благовещенск, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ); Всероссийский конкурс на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых учёных аграрных образовательных и научных организаций России, (2022 г., г. Благовещенск); всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные вопросы автомобильного транспорта», (2022 г., г. Барнаул, ФГБОУ ВО ГТУ имени И.И.Ползунова); национальная научно-практическая конференция «Чтения И.П. Терских», п. Молодёжный, (2022 г., г. Иркутск, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ); E3S web of conferences, «International Scientific Siberian Transport

Forum – TransSiberia 2023», (2023 г., г. Новосибирск, EDP Sciences); всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные вопросы автомобильного транспорта», (2023 г., г. Барнаул, ФГБОУ ВО ГТУ имени И.И.Ползунова); XV международная научно-практическая конференция, посвящённой памяти доцента М.А. Анфиногенова «Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования», (2023 г., г. Новосибирск, ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ); стендовый доклад на ежегодной инновационной выставке-конкурсе Амурской области «АмурТехно2023» (14 декабря 2023 г., г. Благовещенск); международная научно-практическая конференция, посвящённая памяти заслуженного деятеля науки РСФСР, доктора сельскохозяйственных наук, профессора П. Г. Лучкова «Развитие современной аграрной науки: актуальные вопросы, достижения и инновации», (2024 г., г. Нальчик, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ имени В.М. Кокова); XVI международная научно-практическая конференция, посвящённая 80-ти летию Инженерного института «Состояние и инновации технического сервиса конструкций, машин и оборудования», (2024 г., г. Новосибирск, ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ); международная научно-практическая конференция «Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития» (18-19 апреля 2024 г., г. Благовещенск, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ); всероссийская научно-практическая конференция, посвящённая 75-летию Дальневосточного государственного аграрного университета, «Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития», (16-17 апреля 2024 г., г. Благовещенск, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ); всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные вопросы автомобильного транспорта», (2024 г., г. Барнаул, ФГБОУ ВО ГТУ имени И.И.Ползунова); доклад на ежегодной межрегиональной инновационной выставке-конкурсе Амурской области «АмурТехно2024» (17 октября 2024 г., г. Благовещенск); Всероссийский конкурс на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых учёных аграрных образовательных и научных организаций России, (2025 г., г. Благовещенск); международной научно-практической конференции «Научный прогресс и устойчивое развитие», (17 апреля

2025 г., г. Владивосток, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН); XV всероссийская научно-практическая конференция «Развитие науки и технологий в современной России», (31 мая 2025 г., г. Москва); доклад на ежегодной межрегиональной инновационной выставке-конкурсе Амурской области «АмурТехно2025» (31 октября 2025 г., г. Благовещенск).

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 2021-2025 г.г. в сборниках международных, национальных и региональных научно-практических конференций, научных трудов, в журналах: «Аграрный научный журнал», категория К1, «Известия Оренбургского государственного аграрного университета», категория К2, Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ), категория К2.

Всего по теме диссертации опубликовано 32 научных работы, в том числе 1 статья в издании, индексируемом в международной цитатно-аналитической базе данных Scopus, 4 статьи в научных журналах из Перечня рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, получено 6 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 260 страницах, содержит 34 таблиц, 117 рисунков и 48 приложений. В списке литературы содержится 173 наименования, из них 17 на иностранном языке.

ГЛАВА 1. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И СТЕПЕНЬ ЕЁ РАЗРАБОТАННОСТИ. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СРЕДСТВ, МЕТОДОВ И СПОСОБОВ МОБИЛЬНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

1.1 Наличие и качественный состав средств механизации в агропромышленном комплексе Амурской области

Амурская область является ключевым сельскохозяйственным регионом Дальнего Востока, где сосредоточенно 40% посевных площадей Дальневосточного федерального округа. Основу аграрного сектора составляют соя и зерновые культуры, которые доминируют в структуре посевов, рисунок 1.1.

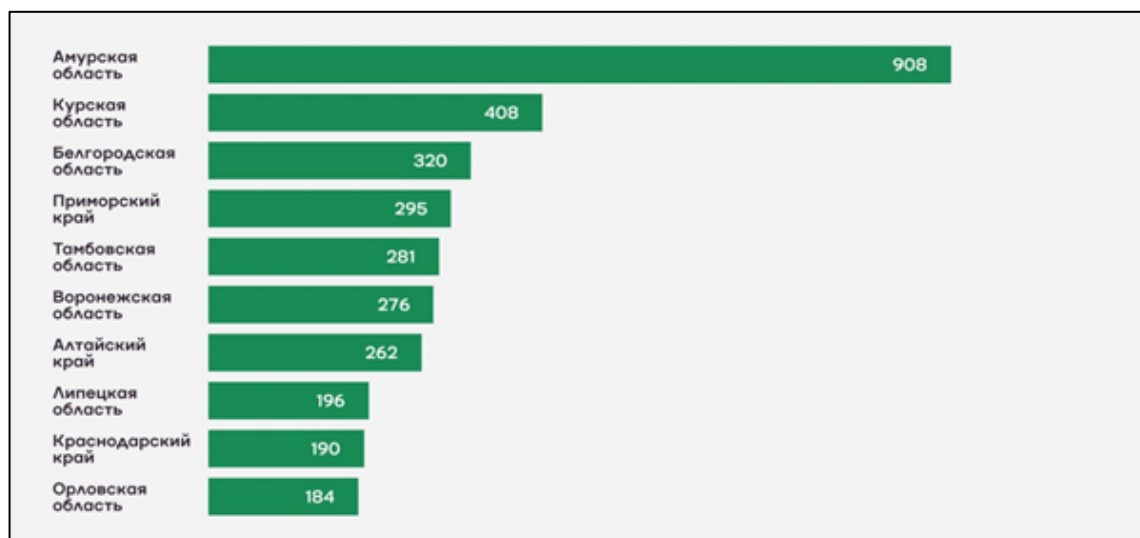


Рисунок 1.1 – Распределение субъектов Российской Федерации по размеру посевных площадей сои [1]

В агропромышленном комплексе региона эксплуатируется значительный машинно-тракторный парк, включающий 3450 тракторов, 2200 зерноуборочных комбайнов, 1510 посевных комплексов и сеялок, 2451 почвообрабатывающую машину, 1527 грузовых автомобилей, а также широкую номенклатуру специализированного оборудования, обеспечивающего выполнение технологических операций. Данный парк представляет собой основу механизированного сельскохозяйственного производства, позволяя

оптимизировать трудозатраты и повысить производительность на всех этапах агротехнологического цикла [2].

Однако в 2025 году наметилась тенденция снижения темпов развития сельскохозяйственного машиностроения. Так, по данным организаций – производителей, отгрузки отечественных сельхозмашин за первый месяц 2025 года сократились на 31,5% — до 8,9 млрд руб. с НДС, говорится в материалах ассоциации «Росспецмаш» [3].

Падение продаж отмечается практически по всем видам сельхозтехники. В частности, по зерноуборочным комбайнам снижение составило 58,3%, кормоуборочным — 32,4%. Отгрузки тракторов сократились на 39% — до 709 штук. Рост продаж отмечается только по кормоуборочной технике и машинам для внесения удобрений. Отгрузки последних выросли с 60 до 138 штук. А в сегменте пресс-подборщиков отмечен рост с 219 до 281 штук. В ассоциации отметили, что по-прежнему не видят предпосылок к улучшению ситуации на рынке сельхозтехники, таблица 1.1 [1].

Таблица 1.1 – Отгрузки российской сельхозтехники на внутренний рынок

Вид техники	2024 январь-март	2025 январь-март	Изменения, %
Комбайны зерноуборочные, ед.	1048	437	-58,3
Комбайны зерноуборочные самоходные, ед.	68	46	-32,4
Тракторы сельскохозяйственные, ед.	1163	709	-39
Плуги, ед.	353	307	-13
Культиваторы, ед.	616	509	-17,4
Бороны, ед.	1156	921	-20,3
Сеялки, ед.	1026	980	-4,5
Машины для внесения удобрений, ед.	60	138	+130
Опрыскиватели, ед.	423	296	-30
Косилки, ед.	540	695	+28,7
Жатки, ед.	387	336	-13,2
Пресс-подборщики, ед.	219	281	+28,3
Зерноочистительные машины, ед.	170	127	-25,3

Систематическая модернизация и обновление материально-технической базы являются определяющим фактором, влияющим на развитие агропромышленного производства. Предприятия региона ежегодно осуществляют

закупку новой техники, как через прямые договоры поставки, так и при активной поддержке государственных инструментов финансирования и субсидирования. Особое значение приобретают программы финансового лизинга, реализуемые через институты, такие как АО «Росагролизинг», а также механизмы льготного кредитования, направленные на снижение финансовой нагрузки на аграриев, рисунок 1.3 [4].

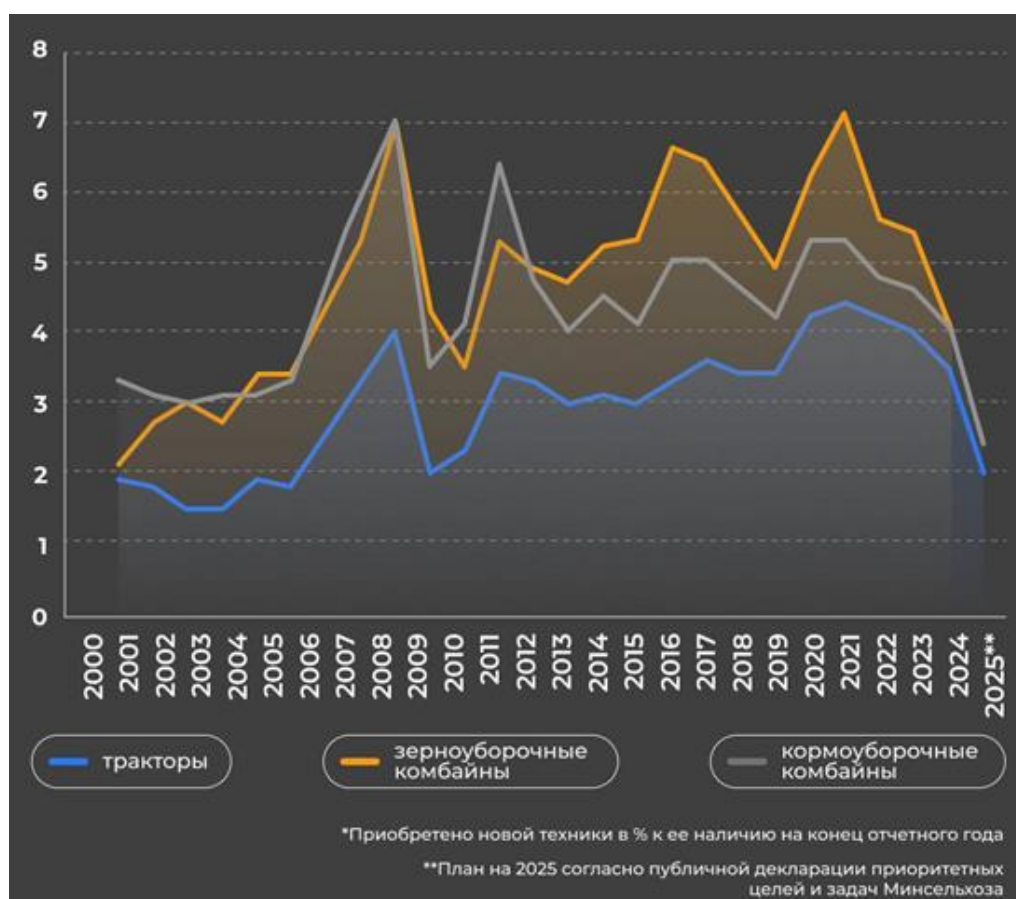


Рисунок 1.2 – Коэффициент обновления техники за последние 25 лет

План технического перевооружения на 2024 год предусматривал приобретение дополнительных единиц техники, включая 110 тракторов, 85 зерноуборочных комбайнов, а также значительного количества посевных, почвообрабатывающих и кормозаготовительных агрегатов. Особое внимание уделяется поставкам узкоспециализированной техники, необходимой для высокотехнологичного производства, хранения и переработки картофеля и овощной продукции. В целях реализации данных планов предусмотрена комплексная государственная поддержка, включая субсидирование и компенсацию части затрат на закупку новой техники за счёт регионального бюджета, что

позволит ускорить обновление парка машин и расширить возможности механизации. Однако на 2025 год перспективы достаточно неопределённые [2].

В 2025 году наблюдался явный спад обеспечения сельскохозяйственных организаций тракторами, комбайнами и сельскохозяйственными машинами по сравнению с 2024 годом, рисунок 1.4 [1].

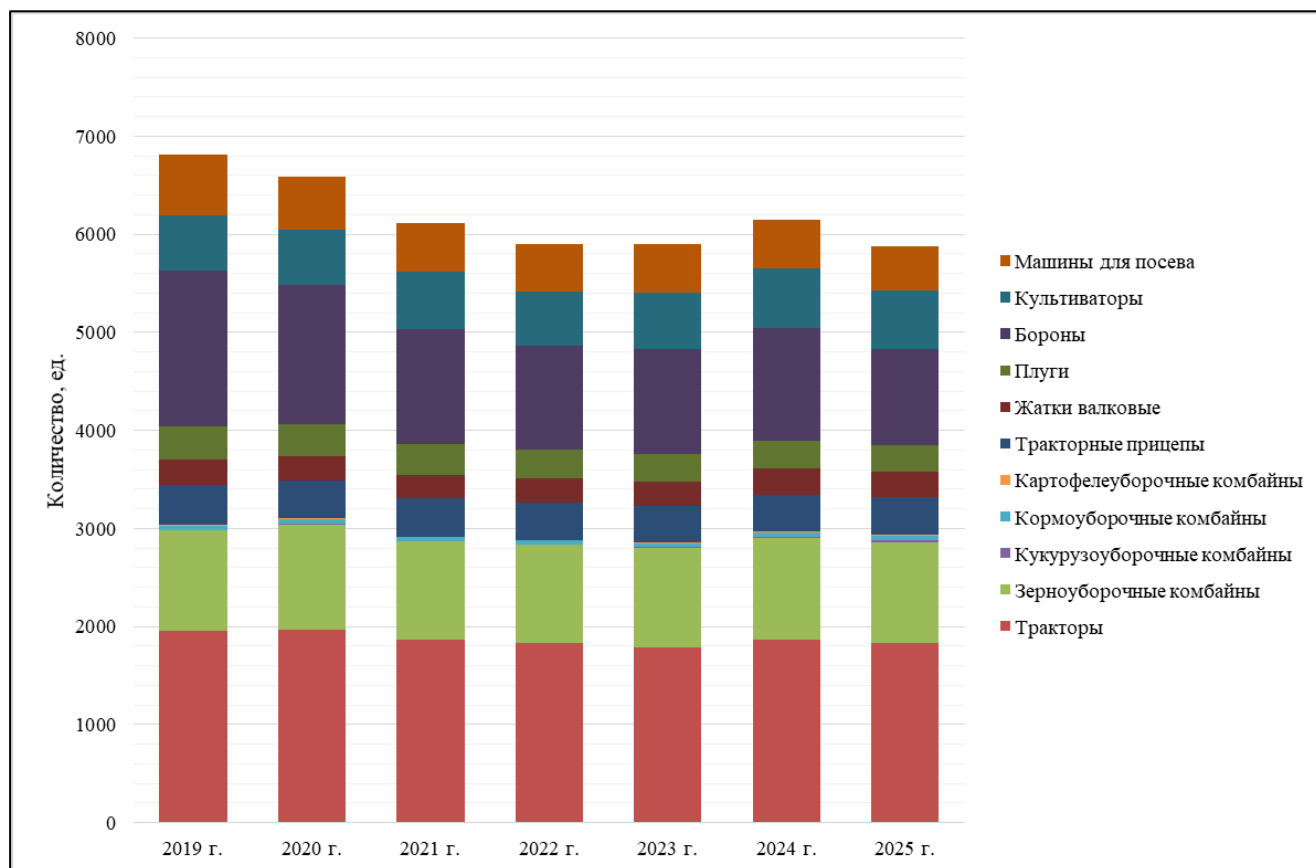


Рисунок 1.3 – Диаграмма изменения количества тракторов, комбайнов и сельскохозяйственных машин в региональном производстве за последние 7 лет

На 1 января 2025 года обеспеченность Амурской области тракторами, комбайнами и сельскохозяйственными машинами имеет следующий вид (рисунок 1.5).

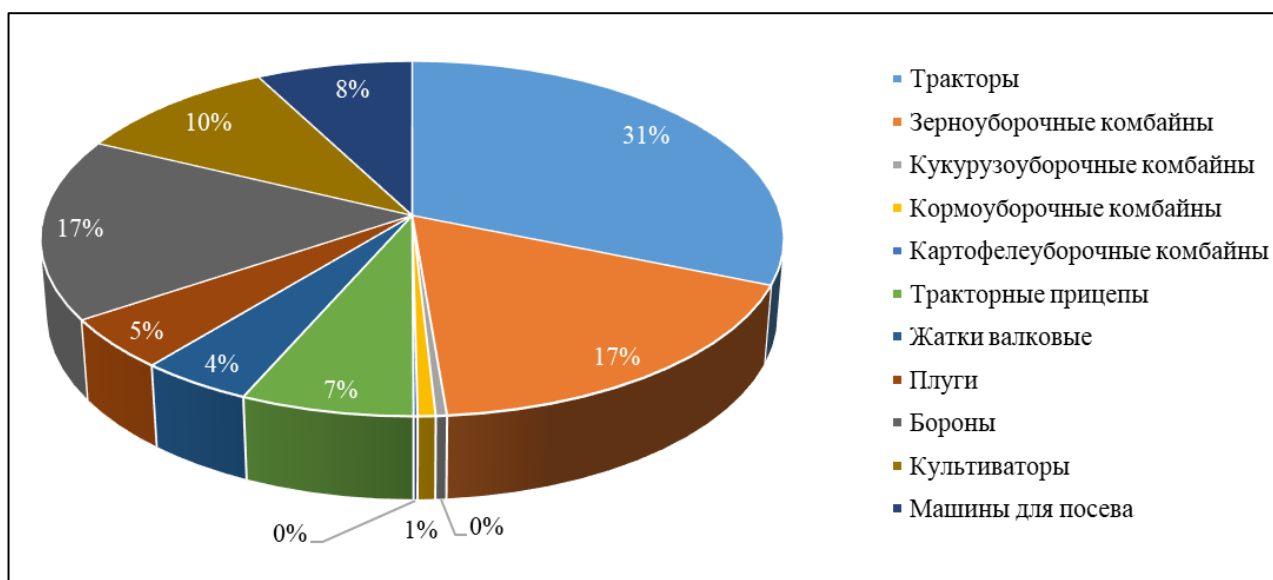


Рисунок 1.4- Обеспеченность сельскохозяйственной техникой Амурской области на 2025 год

Приведённое соотношение обеспеченности предприятий сельскохозяйственным оборудованием показывает, что основными средствами механизации являются трактора различных марок и тяговых классов, а именно 31% от общего числа сельскохозяйственного оборудования. Исходя из данных на 2023 год, можно составить приблизительную картину относительно марочного состава тракторного парка Амурской области, рисунок 1.6.

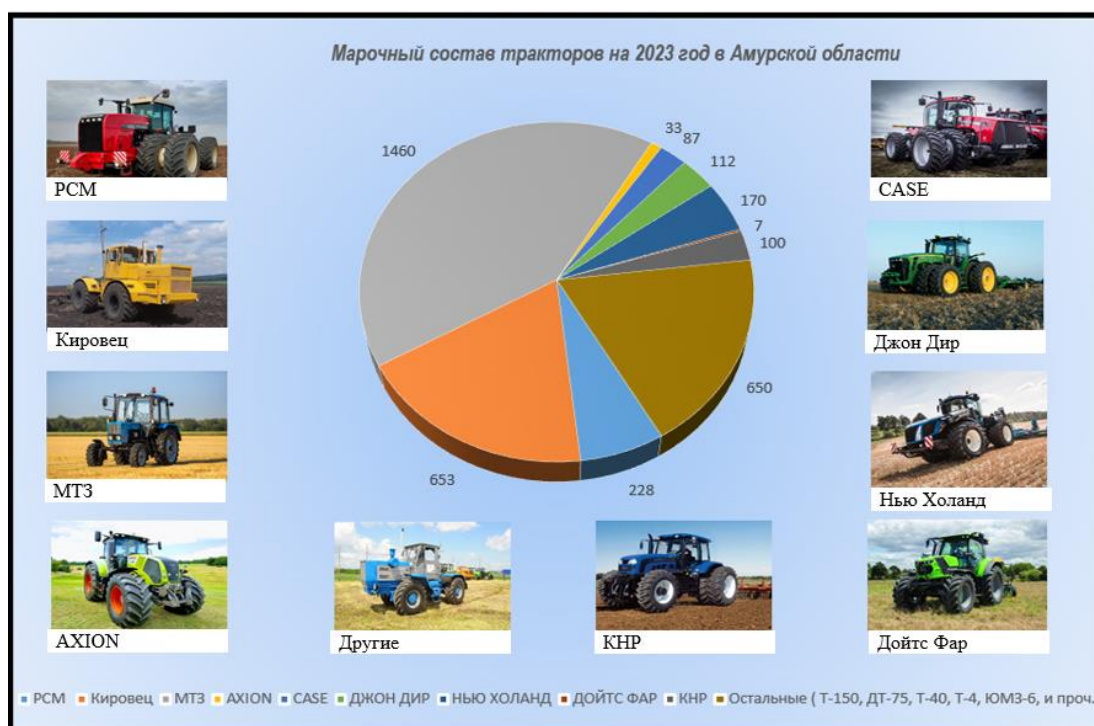


Рисунок 1.5 – Марочный состав тракторов в региональном АПК [5]

Таким образом, приведённые данные позволяют сделать вывод, что наиболее распространёнными являются тракторы Минского тракторного завода (МТЗ), что можно объяснить их большим количеством в КФХ и личных фермерских хозяйствах региона. Тракторы марки МТЗ демонстрируют весьма энергичное превосходство не только относительно предложений различных производителей, но и по сравнению с тракторами других тяговых классов. Их конкурентоспособность во многом обусловлена более низкими ценовыми характеристиками, которые, в сочетании с высокими показателями универсальности и параметрической адаптивности, а также с полной локализацией всех сборочных компонентов на территории Республики Беларусь, придаёт им значительные преимущества, кроме того, их эксплуатационные качества, включая надёжность в условиях разнообразного применения и длительный срок службы, делают трактора МТЗ особенно привлекательными на современном рынке аграрной техники, рисунок 1.7.

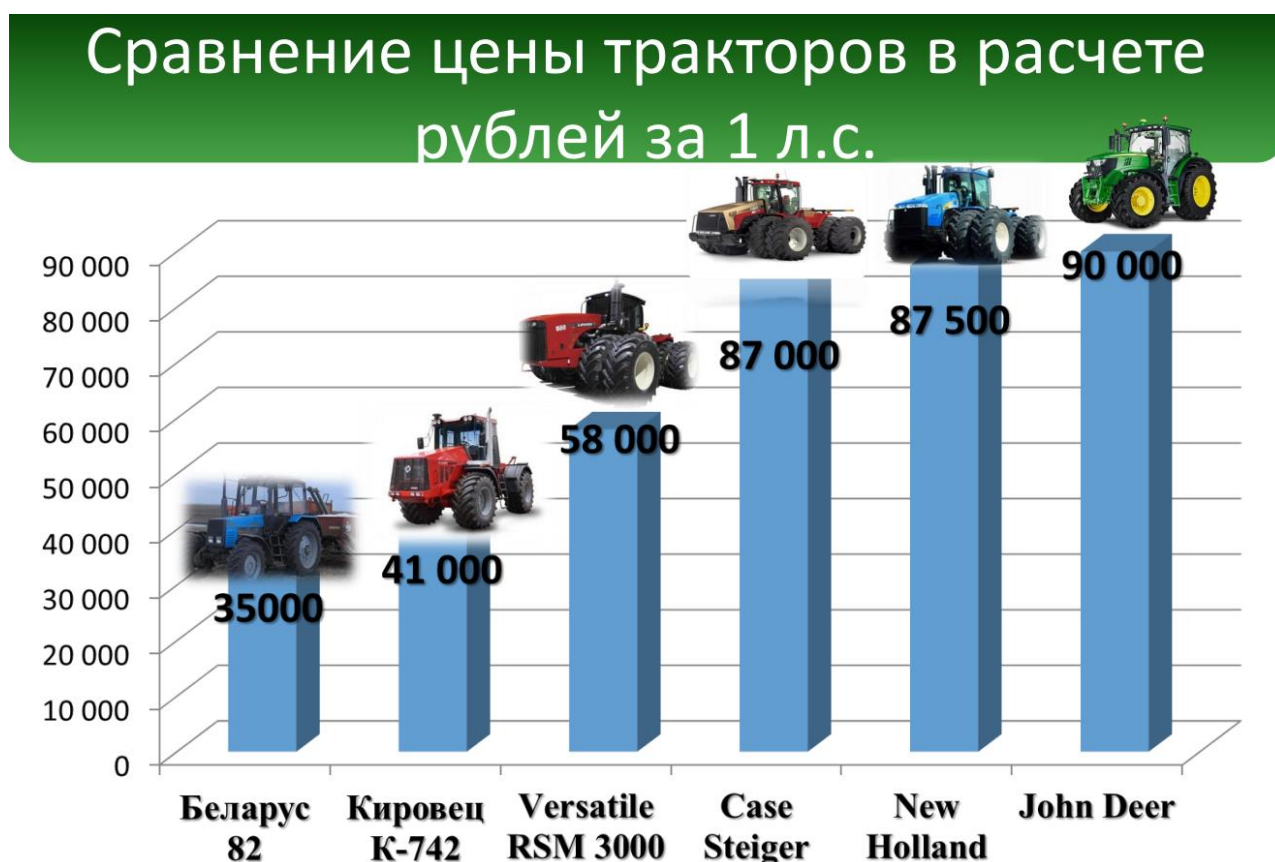


Рисунок 1.6 – Сравнительная оценка средней стоимости тракторов популярных марок в расчёте на 1 л.с. в 2023–2026 гг. [6]

Несмотря на проведение активной модернизации, в структуре регионального парка сельскохозяйственной техники сохраняется высокий уровень амортизации эксплуатируемого оборудования. Превышение нормативного срока эксплуатации наблюдается у 57% тракторов и 37% зерноуборочных комбайнов, что формирует значительные издержки на текущие ремонты и техническое обслуживание. Для обеспечения функциональности изношенной техники в регионе функционирует разветвлённая сеть ремонтной и сервисной инфраструктуры, включающая 6 специализированных сервисных предприятий, более 80 стандартных и около 120 приспособленных мастерских, а также 15 организаций, предоставляющих услуги комплексного технического сопровождения [2].

В связи с чем оптимизация системы сервисного и технического обслуживания, проведения ремонтов остаётся ключевой задачей в повышении эксплуатационной надёжности сельскохозяйственной техники. На уровне региона осуществляется внедрение мероприятий по модернизации мастерских, созданию мобильных ремонтных бригад и укреплению материально-технической базы существующих предприятий. Повышение качества и оперативности ремонтного обслуживания, что возможно применением методов своевременной диагностики на предприятии, напрямую способствует снижению простоев техники, улучшению её производительности, повышению эксплуатационных коэффициентов, а также продлению срока эксплуатации без значительных капиталовложений в обновление парка.

1.2 Формы и методы диагностирования колёсных тракторов и сельскохозяйственной техники в агропромышленном комплексе Амурской области

Формы диагностирования колёсных тракторов, используемых в агропромышленном комплексе Амурской области, демонстрирует устойчивую тенденцию перехода к более технологичным и автоматизированным системам. Такие системы обеспечивают сокращение времени простоев и оптимизацию затрат

на её техническое обслуживание, а те же повышают качество обслуживания. Колесные тракторы, являясь основным звеном механизированного сельского хозяйства региона, занимают центральное место в производственных процессах. Поэтому эффективность их эксплуатации во многом зависит от качества применяемых диагностических технологий, рисунок 1.8 [2, 7, 8, 9] .



Рисунок 1.7- Формы диагностики тракторов

На современном этапе диагностика тракторов базируется как на традиционных подходах (визуальный осмотр, механические и электрические измерения), так и на прогрессивных цифровых, автоматизированных способах и технологиях, которые, в свою очередь, формируют целостную систему оценки технического состояния такого технически сложного объекта как колёсный сельскохозяйственный трактор. Рассмотрим более детально методологию диагностических технологий, представленную на рисунке 1.8.

Бортовая диагностика

Большинство современных колёсных тракторов оснащено встроенной самодиагностикой, использующей CAN шину для мониторинга в реальном времени параметров двигателя, трансмиссии, гидросистемы и электрооборудования. При отклонениях автоматически формируются коды

неисправностей (DTC), считываемые диагностическими сканерами, что ускоряет выявление отказов и снижает простой техники [10, 11].

Компьютерные диагностические комплексы

Для углублённой оценки технического состояния тракторов всё шире применяются дилерские диагностические средства (DST), подключаемые к электронным блокам через сервисный разъём. Они обеспечивают чтение DTC, контроль рабочих параметров, корректировку калибровок ЭБУ и при необходимости обновление/перепрограммирование ПО. На практике используются решения John Deere, Case IH, New Holland и отечественные аналоги, что снижает риск отказов в периоды пиковой нагрузки [12].

Вибродиагностика и термография

Для контроля механических узлов трактора (двигатель, трансмиссия, подвеска) все чаще применяют вибродиагностику и термографию. Виброанализ выявляет скрытый износ, несоосность и дисбаланс, а тепловизионный контроль фиксирует локальные перегревы как ранний признак отказа. Методы наиболее эффективны при интенсивной эксплуатации техники [13, 14].

Дистанционный мониторинг и телематика

Тракторы ведущих брендов (John Deere, CLAAS, Fendt) все чаще оснащаются телематическими системами для дистанционного мониторинга, что востребовано крупными агрохолдингами Амурской области. В режиме реального времени фиксируются расход топлива, нагрузки, температурные параметры силовой и гидравлической систем, а также координаты машины; доступ обеспечивается через мобильные и стационарные терминалы, упрощая управление парком техники [9, 15].

Сервисные центры и мобильные сервисные бригады

В регионе формируется сеть авторизованных сервисных центров и мобильных ремонтных бригад. Поставщики техники выполняют инструментальную диагностику на высокоточном оборудовании, что ускоряет выявление сложных неисправностей и снижает простои, критичные при коротком агросезоне [16, 17, 18].

Лабораторный анализ технических жидкостей

Эффективный подход к оценке состояния узлов тракторов — лабораторный анализ моторного масла, гидрожидкостей и охлаждающих составов; в регионе такие услуги уже доступны. Результаты позволяют количественно оценить износ и прогнозировать остаточный ресурс, снижая риск внезапных отказов и связанных потерь.

Несмотря на прогресс в диагностике, сохраняются ограничения: в Амурской области значительную долю парка составляют тракторы советского и раннего постсоветского выпуска в которых отсутствие встроенных диагностических систем повышает трудоёмкость и длительность их обслуживания. В то же время импортная техника, которая активно внедряется в регион, сопряжена с другими сложностями, например, нехваткой квалифицированных специалистов и высокой стоимостью сервисного оборудования. Эти факторы усложняют и удорожают её обслуживание, а также затрудняют внедрение передовых технологий в аграрное производство.

Таким образом, для максимально эффективного применения этих возможностей необходимо решить несколько ключевых задач: провести обновление парка техники, повысить доступность оборудования и программного обеспечения при их оптимальной стоимости, осуществить подготовку квалифицированных специалистов. Решение этих вопросов может стать значительным шагом в повышении эффективности агропромышленного комплекса региона [19, 20].

Диагностика сельскохозяйственной техники, как отдельный класс методики диагностирования — это комплекс мероприятий, рисунок 1.10, направленных на определение технического состояния сельскохозяйственных машин и оборудования, которые в свою очередь позволяют выявить неисправности, оценить износ деталей и узлов, а также определить необходимость ремонта или замены отдельных элементов [21, 22].



Рисунок 1.8- Методы диагностики сельскохозяйственной техники

Известные методы диагностики сельскохозяйственной техники включают:

1. Визуальный осмотр выявляет видимые дефекты, износ, коррозию перед эксплуатацией.
2. Измерения параметров (манометры, термометры, амперметры, вольтметры) контролируют ДВС, трансмиссию, гидравлику [22, 23].
3. Акустическая диагностика анализирует шумы/вибрации для выявления неисправностей подшипников, шестерён, клапанов [24, 25].

4. Тепловая диагностика фиксирует температурные аномалии инфракрасными датчиками [26].

5. Компьютерная диагностика сканерами считывает диагностические коды ошибок бортового ЭБУ для локализации отказов [23, 27].

6. Анализ масел/жидкостей (спектроскопия, хроматография, микроскопия) определяет загрязнения и деградацию [19].

7. Трибодиагностика измеряет зазоры/толщины для прогнозирования ресурса.

8. Вибрационная диагностика идентифицирует дисбаланс, несоосность, износ по спектрам колебаний [28, 29, 30, 31, 32].

9. Ультразвуковая дефектоскопия обнаруживает внутренние трещины, поры по отраженным волнам.

В общем случае представленные методы диагностики позволяют на должном уровне провести исследование параметров машин и сельскохозяйственной техники. Однако известное приборное оборудование рассчитано только на использование при одном выбранном способе диагностики, что позволяет достаточно обоснованно предположить, что применение единого приборного комплекса при совмещении нескольких способов диагностики будет востребовано производством и является перспективным направлением исследований в выбранном направлении [33].

Безразборная диагностика сельскохозяйственной техники — это комплекс методов, которые позволяют оценить техническое состояние машин и оборудования без необходимости их разборки, рисунок 1.11:

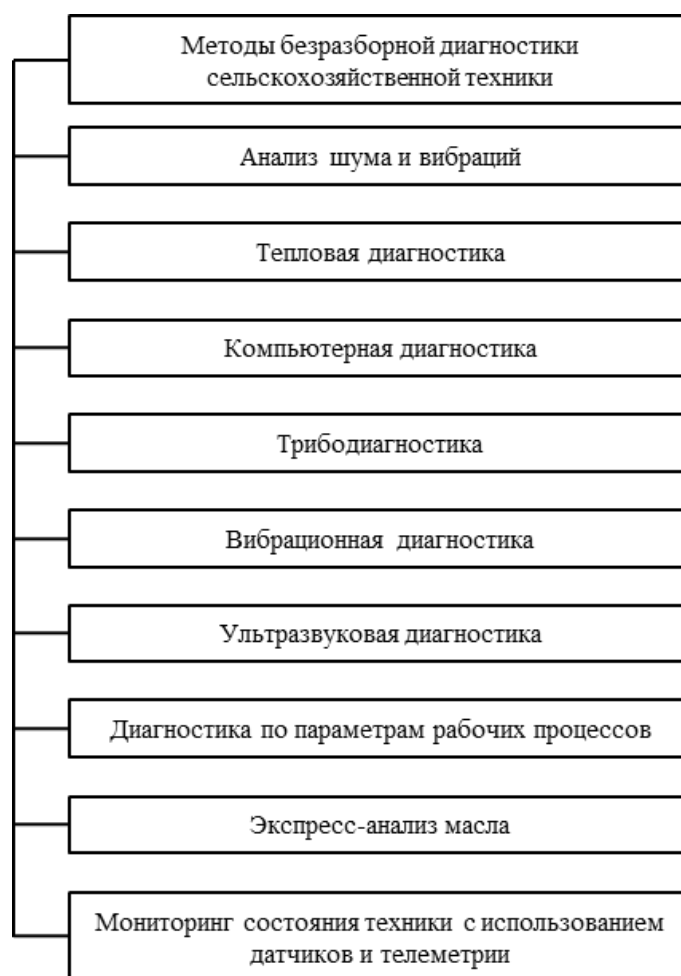


Рисунок 1.9 - Методы безразборной диагностики сельскохозяйственной техники

1. Акустическая и вибрационная диагностика. Регистрация спектральных характеристик шума и параметров вибрации позволяет идентифицировать дефекты подшипниковых узлов, неуравновешенность роторов и неисправности зубчатых зацеплений трансмиссии [34, 35, 45].

2. Тепловизионный контроль. Применение инфракрасной термографии обеспечивает бесконтактное определение градиентов температур, выявляя очаги локального перегрева в узлах трения и гидравлических контурах [26, 36].

3. Микропроцессорная диагностика ЭБУ. Считывание и интерпретация диагностических кодов (DTC) через протоколы передачи данных позволяет оценить параметры функционирования электронных систем управления [26, 37].

4. Техническая дефектоскопия. Инструментальный контроль зазоров в сопряжениях и остаточной толщины стенок нагруженных элементов используется для прогнозирования межремонтного ресурса [38].

5. Виброакустический мониторинг. Использование виброанализаторов для фиксации амплитудно-частотных характеристик механизмов позволяет локализовать источники динамических нагрузок [28, 39, 40, 41, 45].

6. Ультразвуковая дефектоскопия. Применение методов неразрушающего контроля методом ультразвукового сканирования для обнаружения внутренних несплошностей, усталостных трещин и дефектов литья в металлоконструкциях.

7. Анализ рабочих параметров ДВС. Оценка эффективных показателей двигателя (удельный расход топлива, эффективная мощность) на соответствие паспортным характеристикам для выявления отклонений в рабочих циклах.

8. Трибологический экспресс-анализ. Оперативная оценка физико-химических свойств смазочных материалов и определение концентрации продуктов износа в масляной ванне без демонтажа агрегатов [42, 43].

9. Удалённая телеметрия и сенсорный мониторинг. Интеграция датчиков в системы машин для трансляции рабочих параметров в режиме реального времени на сервер диспетчеризации с целью предиктивного обслуживания [44].

Так же методы диагностирования сельскохозяйственной техники можно разделить на следующие три основные группы, рисунок 1.12.



Рисунок 1.10 - Методы диагностирования сельскохозяйственной техники

- по назначению - функциональные, предназначенные для измерения параметров состояния, характеризующих функциональные свойства составных частей и агрегатов, и ресурсные, предназначенные для определения остаточного ресурса диагностируемых узлов и агрегатов машин;

- по способу измерения параметров - на органолептические (субъективные), проводимые с помощью органов чувств (осмотр, слушивание, ощупывание, запах), и инструментальные (объективные), осуществляемые с помощью контрольно-измерительных приборов и диагностических средств;

- по характеру измерения параметров - прямые (непосредственное измерение) и косвенные [46].

При прямом диагностировании измеряют параметры деталей и по их отклонению от норм дают заключение о техническом состоянии. Измерения выполняют при помощи специальных приборов: микрометров, нутромеров, щупов,

масштабной линейки, рулетки, штангенциркуля, угломеров, зубомеров, калибраторов, тахометров и т. п. Широко используют также приборы измерения температуры, усилий, давления, вращающих моментов, расхода жидкостей и газов, ускорений и вибраций, состава отработавших газов, жидкостей и других величин. Однако эти методы очень трудоёмки и требуют разборки сборочных единиц.

Косвенные методы обеспечивают большую информативность, в основном основаны на определении структурных параметров ТС (технического состояния) агрегатов машин по косвенным (диагностическим) параметрам без разборки механизмов. Они основаны на измерении непосредственно физических величин, которые характеризуют техническое состояние механизмов, а также систем и агрегатов машин:

-диагностирование по параметрам переходных процессов, где используется информация неустановившихся режимов работы (например, определение мощности двигателя по величине ускорения при его свободном разгоне и др.);

-диагностирование по параметрам сопутствующих процессов, которые косвенно характеризуют техническое состояние машины (например, износ цилиндропоршневой группы — по прорыву газов в картер двигателя).

Перечисленные методы выполняют при постоянном участии оператора-диагноста, в основном в стационарных условиях, что требует, как отвлечения времени оператора, так и снятия с операции (маршрута) объекта диагностирования [47].

1.3 Структура диагностики и классификация средств определения неисправностей

1.3.1 Рекомендуемая структура диагностики (на примере машинно-тракторного агрегата (МТА)) с использованием разнонаправленных эксплуатационных приборов по проверочным рабочим блокам

Диагностика, как направление научной деятельности, должно иметь чёткую структуру и последовательность действий, явно понимаемую и воспринимаемую обслуживающим персоналом, так как строгое соответствие рекомендованным этапам и блокам чётко коррелирует с качеством её выполнения. В связи с чем предложена сводная структура диагностики (на примере машинно-тракторного агрегата (МТА)) с использованием разнонаправленных эксплуатационных приборов по проверочным рабочим блокам, которая представлена на рисунке 1.13. Предлагаемая структура включает следующие проверочные блоки:

Учёт и непрерывный контроль работы МТА

Этот блок осуществляет мониторинг работы машинно-тракторных агрегатов в реальном времени. В нём выделены приборы, используемые для оценки параметров на протяжении всей эксплуатации МТА. Так счётчики выработки (наработки) с фиксацией времени работы, определяют продолжительность работы агрегатов, а также объем выполненных операций: площадь вспаханного поля, количество или масса перевезённого груза, километраж и т. п.

К приборам контроля и управления эксплуатационными режимами работы и учёта затрат относятся устройства автоматизации, позволяющие поддерживать оптимальные режимы работы машинно-тракторного агрегата, предотвращая перегрузки и перерасход ресурсов. Применение приборов направлено на минимизацию эксплуатационных потерь. Сигнализаторы нарушений предупреждают оператора о превышении допустимых нагрузок, нарушении технологического процесса или угрозе безопасности — это могут быть световые и звуковые индикаторы состояния с выводом результатов на бортовой компьютер или светосигнальное табло в кабине трактора [33, 46, 47, 48].

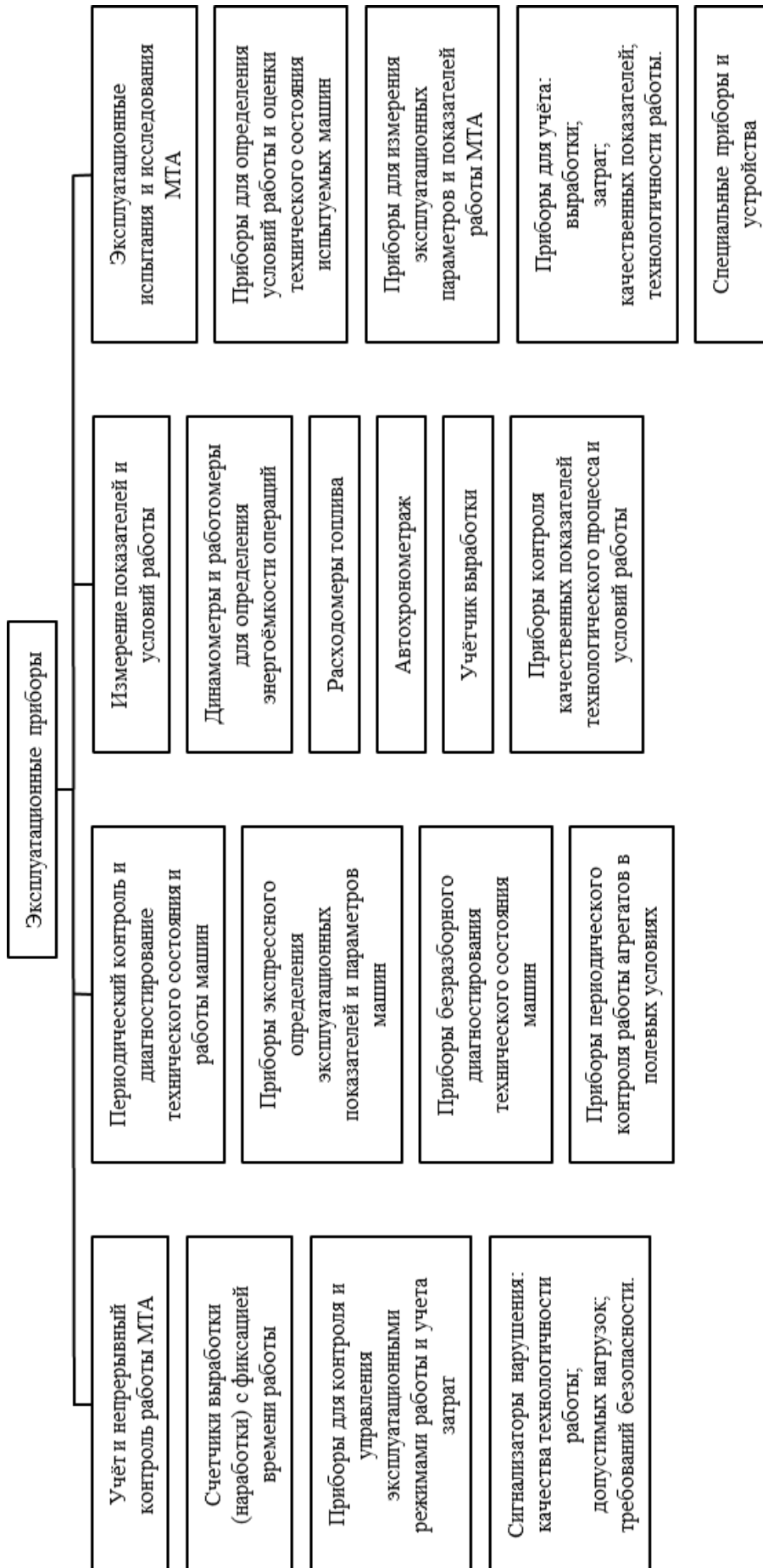


Рисунок 1.11 - Структура блоков диагностики машинно-тракторных агрегатов

Периодический контроль и диагностирование технического состояния и работы МТА

Рассматриваемый блок объединяет приборы для анализа состояния агрегата с определённой ответственным лицом периодичностью.

К ним относятся приборы экспрессного определения эксплуатационных показателей и параметров машин, которые предназначены для оперативного съёма данных о текущих характеристиках МТА. Например, комплект приборов для измерения расхода топлива, температуры отдельных узлов, параметров вибрации.

Также включены приборы безразборного диагностирования технического состояния машин, к ним относятся виброметры, тепловизоры и прочие акустические приборы, которые позволяют выявить ранние стадии износа без необходимости разборки оборудования.

И приборы периодического контроля работы агрегатов в полевых условиях, устройства, предназначенные для выполнения диагностических операций на местах эксплуатации [48].

Измерение показателей и условий работы

Третий блок схемы включает приборы, которые измеряют и записывают информацию о параметрах эксплуатации МТА. Это динамометры и работомеры, которые используются для измерения энергетической эффективности передаточных потерь, КПД, оценки трудоёмкости и трудозатрат выполняемых работ. Работомер в этом случае является прибором, который позволяет контролировать состояние систем транспортного средства, фиксировать в течение всего рейса нагрузку на двигатель и массу перевозимого груза. При этом расходомеры топлива помогают оптимизировать расходы за счёт контроля расхода горючего в режиме реального времени.

Встроенные системы автохронометража фиксируют временные параметры эксплуатации, помогая контролировать длительность отдельных этапов работы, а приборы-учётчики выработки фиксируют объем выполненной работы агрегата в натуральных единицах таких как: тонны, гектары и т.д. [49, 50, 51].

Эксплуатационные испытания и исследования МТА

Приборы этого блока используются для детального анализа эксплуатации техники в реальных условиях. Так приборы для определения условий работы и оценки технического состояния испытываемых машин позволяют оценить, как техника функционирует при различных нагрузках. Приборы для измерения эксплуатационных параметров и показателей работы МТА фиксируют количественные данные, включая мощность, скорость движения, усилия и вибрации. Приборы для учёта выработки, затрат и качественных показателей технологической работы обобщают входные данные — объем работ, потреблённое топливо, время простоя, затраты на ремонт.

Специальные приборы и устройства. К данной категории относятся специализированные приборы, разрабатываемые для определения специфических параметров исследуемых объектов или для определённых условий эксплуатации, таких как работа в условиях повышенной влажности, высоких температур или в горной местности.

Таким образом предложенная система диагностики машинно-тракторных агрегатов базируется на использовании широкого спектра приборов для мониторинга, анализа и оптимизации их работы. Данный подход позволяет проводить своевременную профилактику, выявлять неисправности на ранних стадиях и обеспечивать высокую эффективность эксплуатации МТА.

Существует так же техническое диагностирование. Техническое диагностирование (с греч. «распознавание») — это аппарат мероприятий, который позволяет изучать и устанавливать признаки неисправности (работоспособности) оборудования, устанавливать методы и средства, при помощи которых даётся заключение (ставится диагноз) о наличии (отсутствии) неисправности (дефекта), логическая схема технического диагностирования представлена на рисунке 1.14 [38, 52, 53].

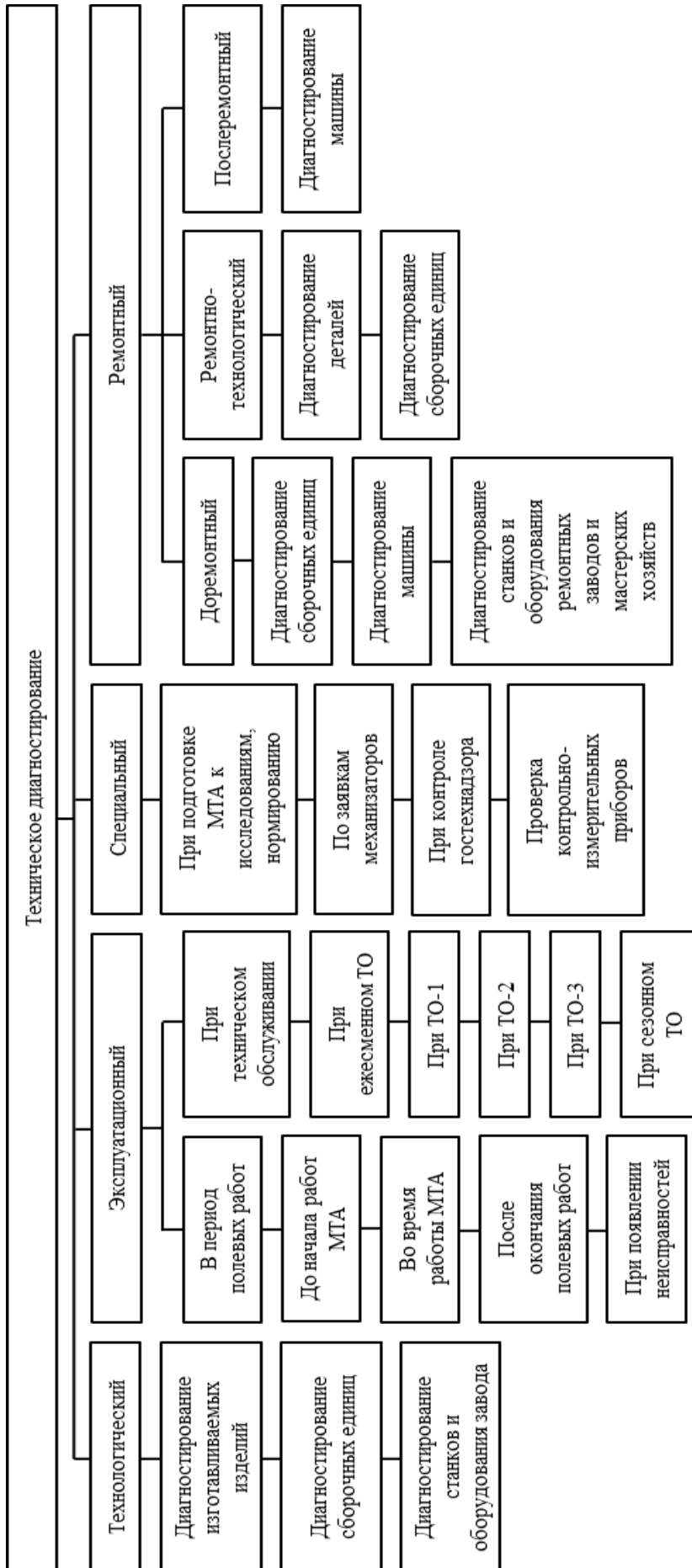


Рисунок 1.12 – Схема технического диагностирования

В этом случае этапные элементы технического диагностирования разделяют на: технологический, эксплуатационный, специальный и ремонтный.

- Технологический метод в свою очередь относится к непосредственному диагностированию изготавливаемых деталей, диагностированию сборочных единиц, диагностированию станков и оборудованию завода, из чего можно сделать вывод что технологический метод относится к диагностированию в процессе производства [54, 55, 56, 57, 58].

- Эксплуатационный метод технического диагностирования можно разделить на два периода, первый из них это в период полевых работ, к которому относят диагностирование: до начала работ МТА, во время работы МТА, после окончания полевых работ, при появлении неисправностей; к второму относят работы при техническом обслуживании: при ежесменном ТО, при ТО-1, при ТО-2, при ТО-3 при сезонном ТО [56].

- Специальный метод больше имеет отношение к административным моментам или к различного рода государственных проверок или исследовательских манипуляциям. К нему относят: при подготовке МТА к исследованиям, нормированию; по заявкам механизаторов; при контроле Гостехнадзора или же других ведомств; проверка контрольно-измерительных приборов.

- Ремонтные методы имеют ряд общих элементов, как видно из блок-схемы, доремонтный метод включает в себя: диагностирование сборочных единиц, диагностирование машины, диагностирование станков и оборудования ремонтных заводов и мастерских хозяйств; ремонтно-технологический же включает только диагностирование деталей и сборочных единиц; в послеремонтный входит исключительно диагностирование машины [59].

1.3.2 Классификация средств определения неисправностей автомобилей

Существующая классификация средств определения неисправностей, базируется на следующих ключевых позициях: монтажные признаки, отношение к объектам диагностирования, периодичность наблюдения, признак мобильности, способ индикации и физические методы измерений. Сводная классификационная схема представлена на рисунке 1.7.

Средства определения неисправностей классифицируются по монтажным признакам на встроенные, автономные и смешанные, а по отношению к объектам диагностирования подразделяются на диагностику агрегатов и машин, периодичность наблюдений можно разделить на: непрерывного, периодического и при отказах, так же по признаку мобильности средства диагностирования классифицируют на переносные, передвижные и стационарные в которых используются следующие способы индикации: одно предельное значение, два экспериментальных значения, весь диапазон значений и с записью всех значений, которые используют следующие физические методы измерения: механические, температурные, акустические, электрические, тензометрические, оптические, магнитные и другие [60].

Классификация средств диагностирования автомобилей имеет схожие элементы со средствами технического диагностирования сельскохозяйственной техники и базируется на аналогичных основных показателях, рисунок 1.15, 1.16.

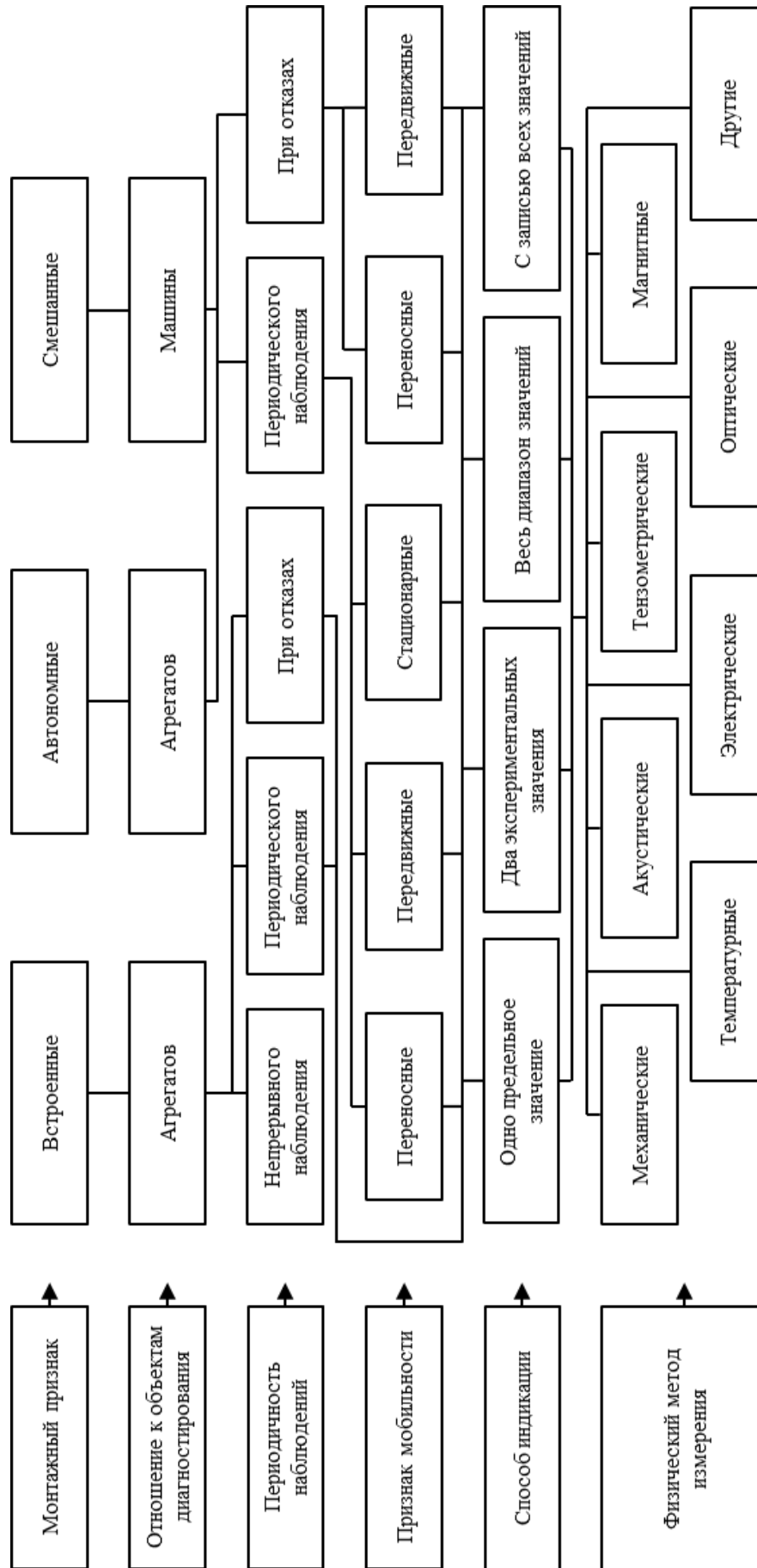


Рисунок 1.13 - Классификация средств определения неисправностей



Рисунок 1.14 – Классификация средств технического диагностирования автомобилей

Средства технического диагностирования автомобиля можно разделить по трём признакам: внешние, встроенные (бортовые) и устанавливаемые на автомобиль.

- Внешние можно разделить на стационарные стенды и переносные приборы.
- Встроенные или бортовые принято делить на индикаторы предельного состояния, устройства для централизованного съёма информации и средства для оценки параметров и состояния в динамике.
- К устанавливаемым на автомобиле средствам диагностирования относятся: средства для оценки и запоминания параметров состояния, информационно-советующие системы.

Несмотря на схожесть средств диагностирования автомобилей и сельскохозяйственной техники, для обнаружения неисправностей при диагностике технологических сельскохозяйственных и промышленных машин на колесном и

гусеничном ходу (тракторов) необходимо использовать специальное оборудование, которое отличается от того, что используется для диагностики автомобилей. Причина этого в специфике работ, выполняемых тракторами, и их системах управления. Основные особенности оборудования для диагностики тракторов и их шасси включают запасные стационарные и передвижные ремонтно-диагностические посты. Также на тракторах используется специализированное электрическое и электронное оборудование, уникальное по сравнению с тем, что используется на других транспортных средствах, например, блоки сопряжения с датчиками, обработка информации, пульта управления и сопряжения с исполнительными устройствами [61].

1.4 Анализ способов исследования технического состояния колёсных тракторов и сельскохозяйственных машин в агропромышленном комплексе

Как указывалось, в предыдущих разделах, для диагностики сельскохозяйственной техники применяются различные методы, включая визуальный осмотр, проверку работы основных узлов и агрегатов, а также использование специализированного оборудования. Визуальный осмотр позволяет выявить видимые повреждения и износ деталей, а проверка работы узлов и агрегатов даёт представление о состоянии техники в целом [7, 9, 18, 22].

Специализированное оборудование, такое как диагностические стенды и сканеры, позволяют проводить более глубокую и точную диагностику, выявляя скрытые неисправности, что обеспечивает безопасность эксплуатации техники и предотвращение непредвиденных поломок.

Выбор метода диагностики определяется типом техники, её возрастом и условиями эксплуатации, причём для новой техники достаточно визуального осмотра и проверки основных рабочих параметров, а для техники старше пяти лет рекомендуется применение специализированного оборудования для углублённой диагностики.

Важно также учитывать экономическую целесообразность выбранного метода диагностики так как некоторые из них являются достаточно дорогостоящими, но при этом обеспечивают более точный результат, в то время как менее затратные методы диагностики могут не выявить неисправности.

В Амурской области существует ряд предприятий, специализирующихся на диагностике сельскохозяйственной техники, они предлагают широкий спектр услуг, включая визуальный осмотр, оценку работы основных узлов и агрегатов [2].

Диагностика сельскохозяйственной техники является важным этапом в обеспечении её эффективной и безопасной эксплуатации. Правильный выбор методов диагностики позволяет выявить скрытые неисправности и предотвратить внезапные поломки. Рассмотрим проведение диагностических операций на примере колёсного трактора.

Для чего предлагается рассмотреть и проанализировать ранее проводимые исследования непосредственно по составным узлам и элементам колёсных тракторов, таким как:

- Двигатель внутреннего сгорания;
- Кабина водителя;
- Рама трактора;
- Трансмиссия;
- Навеска;
- Гидравлическое и пневматическое оборудование;
- Узлы крепления агрегатов к несущим элементам рамы и кузова.

Имеет смысл разделять компоненты трактора на указанные составляющие (рисунок 1.17), так как важно структурировать подходы к диагностике и обслуживанию для обеспечения надежности, функциональности и эффективности работы машины. Каждый конструктивный элемент трактора выполняющий специализированные функции, должен соответствовать строгим технико-эксплуатационным требованиям, что обуславливает их модульное разделение, при этом критически важны узлы крепления агрегатов к раме и кузову, обеспечивающие надёжное соединение через опоры, шарниры, консоли и

кронштейны, гарантирующие устойчивость, производительность и безопасность эксплуатации.

Так двигатель внутреннего сгорания является основным силовым агрегатом любого энергетического средства, без которого н возможна была бы работа ни самого трактора, ни остальных его компонентов, в особенности гидравлическая и пневматическая системы, а также навеска, но в тоже время, двигатель – основной источник вибраций. Диагностику двигателя можно выделить в отдельную категорию, так как он имеет сложную структуру, устройство и зависит от множества факторов: процесса топливоподачи, теплового распределения, смазывания и газообмена, рисунок 1.18 [59, 62, 63, 64].

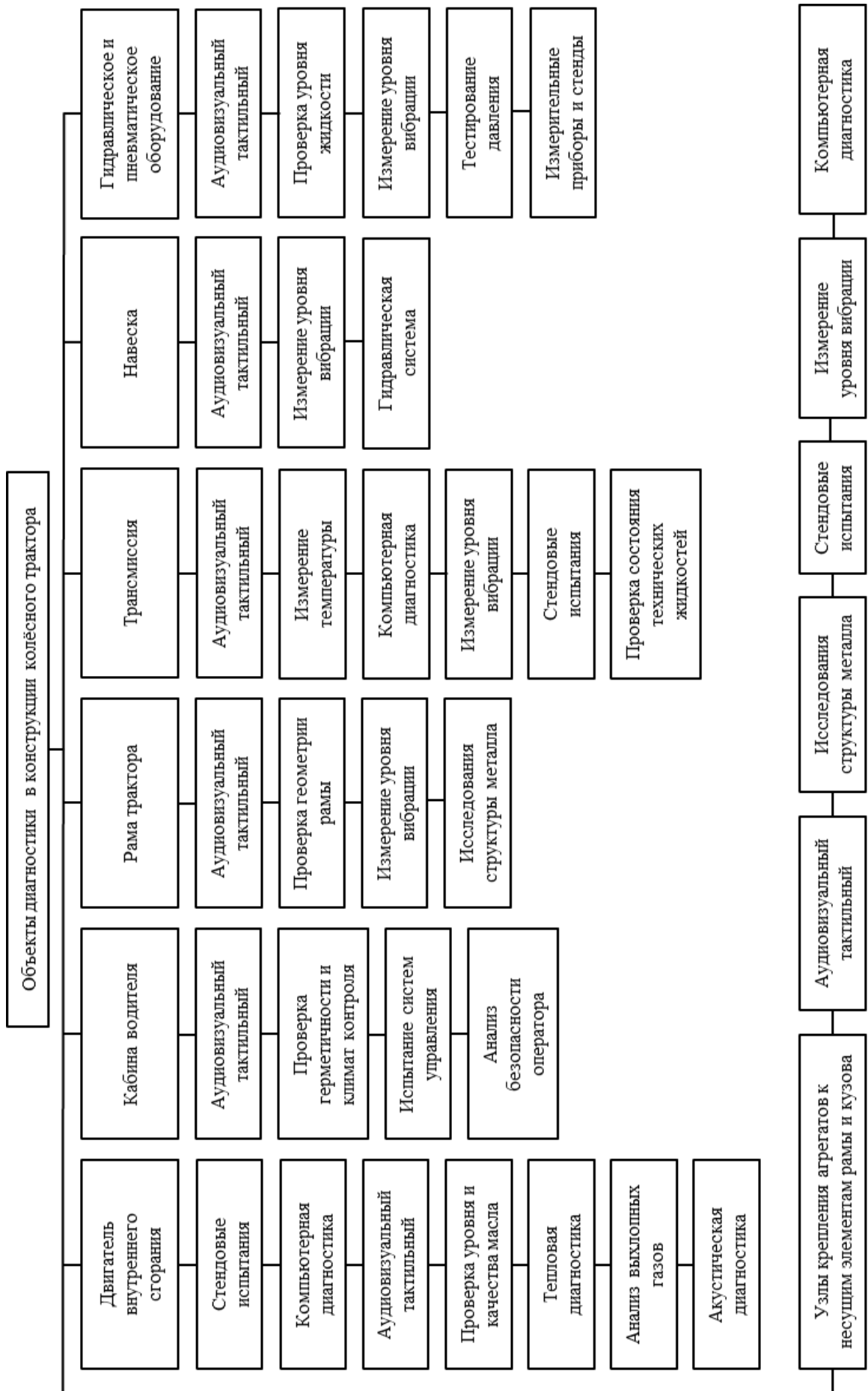


Рисунок 1.15 - Объекты диагностики в конструкции колёсного трактора

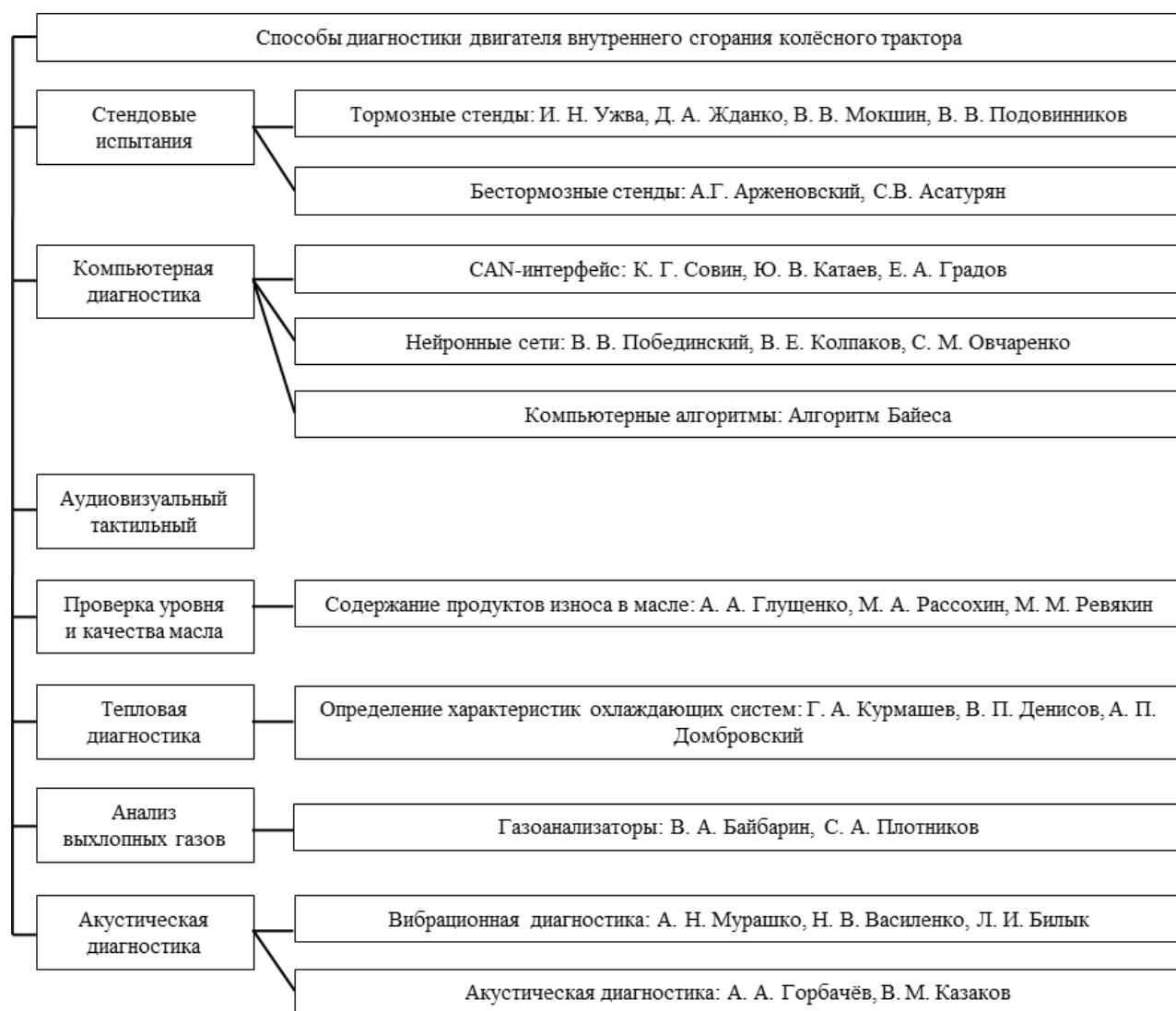


Рисунок 1.16 - Способы диагностики двигателя внутреннего сгорания колёсного трактора

Вопросом стендовых испытаний на тормозных стендах занимались такие исследователи как: И. Н. Ужва, Д. А. Жданко, В. В. Мокшин, В. В. Подовинников и другие [65, 67, 68]. И предложили к использованию собственную разработку в виде стенда для приработки и испытания двигателей внутреннего сгорания который включает в себя исполнительный механизм частоты вращения, соединённый с топливоподающим органом, блок индикации и датчик частоты вращения, которые последовательно соединены с ЭБУ. По бестормозным стендам работу вели А.Г. Арженовский, С.В. Асатурян [69, 70, 71]. Предложив методику и измерительно-вычислительный комплекс при применении бестормозных стендов,

которые хоть и уступают по точности тормозным, но не требуют сложного и дорогого оборудования. Авторы единогласны в том, что имеющиеся на предприятиях агропромышленного комплекса стенды для проведения испытаний являются устаревшими и громоздкими, а их замена или ремонт в большинстве случаев требуют больших финансовых затрат.

Современные тенденции развития науки, дают понять, что применение компьютерных и информационных технологий в том числе, позволяют определять состояние ДВС в короткие сроки, однако в большинстве своём это относится к современным тракторам. Исследованиями на тему компьютерной диагностики через CAN-интерфейс занимались: К. Г. Совин, Ю. В. Катаев, Е. А. Градов [8, 12]. Так же помимо стандартной компьютерной диагностики исследовали применение компьютерных алгоритмов и нейронных сетей: В. В. Побединский, В. Е. Колпаков, С. М. Овчаренко, Г.А. Иовлев, С.В. Ляхов, И.И. Голдина, рекомендуют к применению при диагностике использование нейронных сетей, особенно учитывая малый процент ошибок при длительном обучении, А. В. Неговора предлагает разработку программного продукта, который за счёт методов математической обработки диагностических данных помогает идентифицировать конкретные неисправности [72].

Диагностике двигателя проверкой состава и качества масла посвящены исследования А. А. Глущенко, М. А. Рассохина, М. М. Ревякина [73, 74]. Они предлагают применять методы спектрального анализа картерного масла, а именно применения метода эмиссионного спектрального анализа масла.

Тепловая диагностика так же является перспективным способом диагностики, в особенности как способ безразборной диагностики для выявления трещин или пробоин в рубашке ДВС. Работу над определением характеристик охлаждающих систем вели работу: Г. А. Курмашев, В. П. Денисов, А. П. Домбровский. Использовали методы удаленного технического диагностирования тепловых параметров, не требующий разборки двигателя [75].

Анализом выхлопных газов посвящены исследования: В. А. Байбарина, С. А. Плотникова. Которые предлагают способы доработки устройства для снижения

выбросов вредных газов. Однако используются нормативные документы, разработанные ранее, новые приборы не разрабатывались вовсе.

Учитывая огромное количество деталей и элементов двигателя внутреннего сгорания, производящих вибрационные и звуковые колебания, исследования методов вибрационной и акустической диагностики, таких учёных, как А. Н. Мурашко, Н. В. Василенко, Л. И. Билык, А. А. Горбачёв, В. М. Казаков, будут актуальны в том числе даже после перехода сельскохозяйственной техники на электрические двигатели, так как от деталей вращения и колебаний в колёсных тракторах избавиться на современном этапе развития техники не представляется возможным. Они предложили разработать приемник акустических сигналов в диапазоне 0,1Гц – 20 кГц, с нелинейным преобразованием входного сигнала и представлением выходного сигнала для автоматического распознавания образов [76, 77].

Кабина тракториста-машиниста является рабочим пространством, удобство, безопасность, комфорт и надёжность органов управления, в котором играют большое значение для качества выполняемых сельскохозяйственных операций, рисунок 1.19.



Рисунок 1.17 - Способы диагностики кабины колёсного трактора

Герметичность и климат контроль являются в основном прерогативой современных колёсных тракторов. Герметичность является важным фактором в особенности для здоровья оператора тракторного агрегата. Учитывая климатические особенности Российской федерации обогрев пространства кабины сельскохозяйственных тракторов является важной частью, особенно если учитывать, что тракторы повсеместно используются для уборки и вывоза снега с производственных территорий в холодное время года. Оценка шумоизоляции так же входит в ГОСТ 12.2.019-2015 и ГОСТ Р 53490-2009.

Исследованиями по теме шумоизоляции занимались: П. И. Павлов, А. В. Наумов [78, 79]. Обосновали использование шумоизолирующих материалов в конструкции рабочего места трактора К-701. В процессе исследования, изучали частоту октавной полосы и уровень звукового давления, нормы допустимой шумовой нагрузки брали из ГОСТ 12.1.003 — 83.

Диагностирование системы управления трактором влияет не только на продуктивность выполняемых сельскохозяйственных операций, но также и на

безопасность движения, в особенности при движении колёсных тракторов по дорогам общего пользования, что особенно часто можно наблюдать в сельской местности. При диагностике органов управления особое внимание следует обратить на электронные системы и непосредственно на дорожные испытания или испытания непосредственно в работе П. И. Павлова, А. В. Наумова занимавшихся внедрением электромеханической системы управления рулевым управлением для трактора МТЗ 80.1 [80].

Безопасность работы оператора на предмет уровня вибрации посвящен ГОСТ 31323-2006, в котором в том числе указано, что вибрация, производимая движущейся машиной, ухудшает условия работы оператора и снижает эффективность этой работы. В некоторых случаях такая вибрация может представлять опасность для здоровья оператора. Так же ГОСТ 12.1.012—2004 требует от изготовителя заявлять вибрационную характеристику виброопасных машин.

Также в тракторы начинают внедрять системы, предназначенные для спецтехники: устройство защиты от падающих предметов – FOPS (falling-object protective structure) и устройство защиты при опрокидывании – ROPS (roll-over protective structure), И. П. Трояновская, Д. И. Наратовый, С. И. Серов, занимались разработкой оценок тракторов на соответствие этим системам. Они использовали методы математического моделирования оценки защитной конструкции ROPS на примере промышленного трактора Б10 [81, 82].

- Рама – основной конструктивный элемент большинства колёсных тракторов, который объединяет и несёт на себе все основные узлы. Она должна выдерживать колоссальные механические нагрузки на скручивание, растяжение и сжатие, возникающие как в процессе работы, так и при движении по пересеченной местности. Из-за высокой нагрузки и роли в долговечности трактора рама выделена как самостоятельный объект диагностики. Отдельно стоит отметить тот факт, что рама принимает на себя не только неровности и механические нагрузки во время выполнения сельскохозяйственных операций, но и принимает на себя вибрационные колебания от всех элементов трактора, рисунок 1.20.

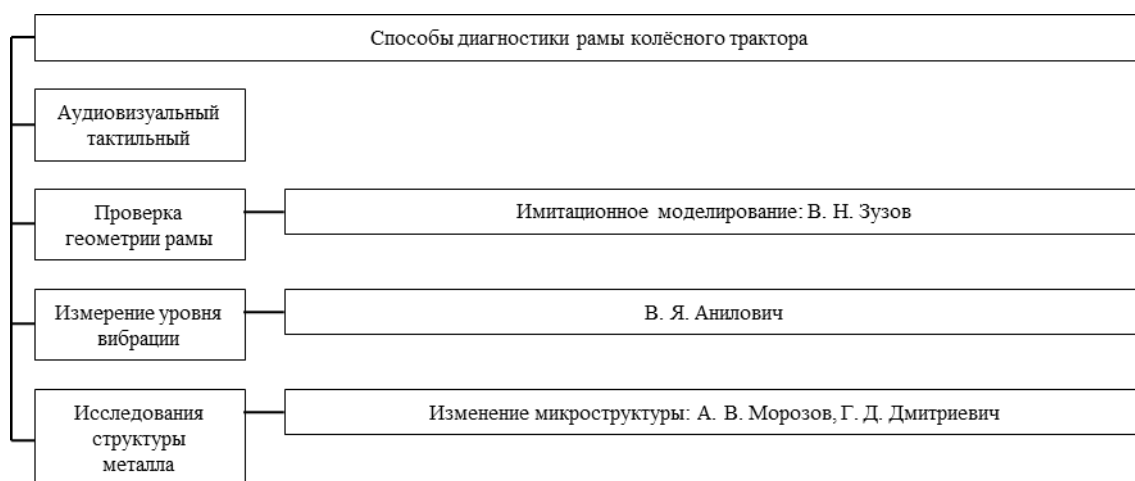


Рисунок 1.18 - Способы диагностики рамы колёсного трактора

Изменение геометрии рамы обычно связывают с превышением допустимых нагрузок, связанных в большей степени с использованием сельскохозяйственных агрегатов тягового класса, не подходящего для конкретного колёсного трактора, либо с авариями. Имитационному моделированию или же рациональному моделированию посвящены исследования В. Н. Зузова, в своей работе автор описывает схему процесса создания конечно-элементных моделей, для определения эффективности использования САД систем для расчёта прочностных характеристик элементов рам тракторов [83].

Уровень вибрации несущих элементов таких как рама, может повышаться из-за ослабления резьбовых, заклёпочных и сварных соединений, в следствии вибрации других элементов трактора. Измерению уровня вибрации элементов колёсного трактора в том числе рам посвящены исследования: В. Я. Анилович, предложили проводить расчёты передаваемых колебаний от двигателя и других виброактивных элементов трактора к кабине оператора через раму, что подтверждает повышенный уровень вибраций на раме [84].

Так же не стоит забывать про усталость металла рамы, в том числе изменение микроструктуры элементов рамы как тракторов стандартной конструкции, так и полурамных: А. В. Морозов, Г. Д. Федотов, занимались повышением качества ремонта горизонтального шарнира рамы трактора К-701 и его модификаций применением электромеханической закалки [85].

- Трансмиссия колёсного трактора, является важнейшим конструктивным элементом колёсного трактора, так она отвечает не только за передачу крутящего момента от двигателя к колёсам, но и за эффективность выполняемых операций, а также за передачу энергии на вал отбора мощности. К её состоянию предъявляются строгие требования, поскольку выход из строя данного узла, мало того, что может полностью парализовать работу трактора, но и стать причиной аварии, рисунок 1.21.



Рисунок 1.19 - Способы диагностики трансмиссии колёсного трактора

Повышение температуры, появляющееся вследствие трения в узлах и агрегатах, превышающей допустимые эксплуатационные пределы может приводить к изменению свойств материалов фрикционных элементов, их ускоренному износу, а также к повышению текучести смазочных материалов. Вопросам теплового обмена в трансмиссии была посвящена работа В. М. Язина и Е. В. Янина, в котором авторами были проведены исследования, направленные на изучение распределения температур в основных узлах трансмиссии и влияние температурных режимов на их работы [86].

А. Ф. Скадров и А. Н. Карташевич занимались разработкой математической модели работы фрикционов коробки передач гусеничного трактора с переключением без разрыва потока мощности, а также определяли эффективность применяемых смазочных материалов и конструктивных решений фрикционных устройств.

Явление изменения уровня вибрации подробно изучены в работах Р. Н. Абдряшитова, где он проводил исследования виброакустических характеристик трансмиссий и разрабатывал методы ранней диагностики и установил при этом, что изменение амплитудного и частотного спектра вибраций является надёжным индикатором критических изменений в узлах трансмиссии [87]. Так же вибрационной диагностикой занимались Н. В. Лимаренко, И. А. Юхин и И. А. Успенский, в своих исследованиях авторы использовали вибродатчики ДН-3-М1. Исследователи установили, что использование вибродатчиков в диагностике может стать важным шагом в поддержании автомобилей в исправном состоянии [88].

Стендовые испытания трансмиссий остаются ключевым методом для определения её ресурса и надёжности. В. Н. Иганатенко и В. М. Шарипов указывают на необходимость применения специальных стендов, имитирующих реальные эксплуатационные режимы, включая переменные нагрузки, воздействие внешних сил и погодных условий, для обеспечения всестороннего анализа работоспособности трансмиссии [89].

Проверка технических жидкостей, так же, как и в случае с двигателем, позволяет сделать выводы о состоянии и целостности элементов механизма трансмиссии. С. Ц. Цымпилов в своих работах исследовал прогнозирование ресурса и выявление условий отклонения исходя из измерения давления технической жидкости [90].

- Навесное оборудование обеспечивает выполнение основных сельскохозяйственных операций таких как вспашка, посев и обработка растений. Навеска включена в список ключевых систем из-за её многофункционального значения и взаимодействия с остальными узлами техники, рисунок 1.22.

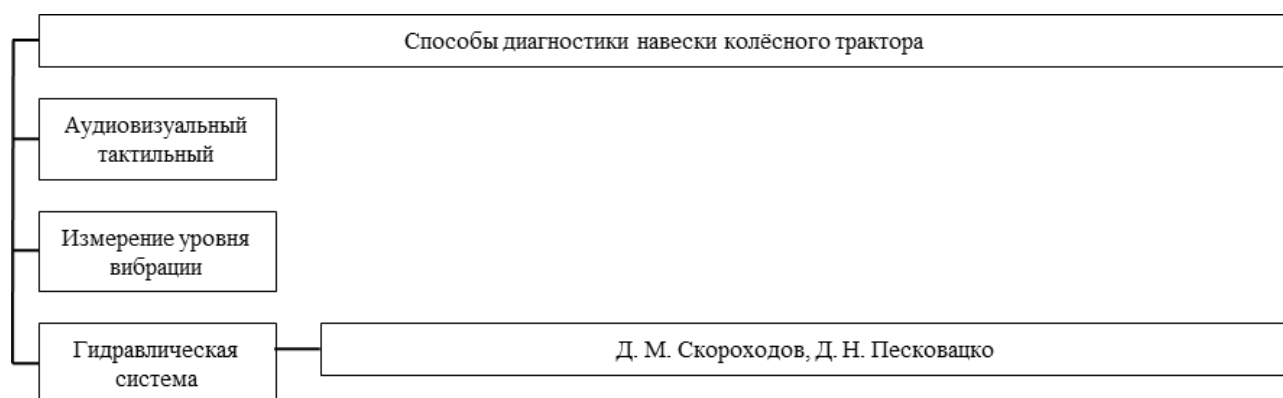


Рисунок 1.20 - Способы диагностики навески колёсного трактора

Вибрационная диагностика навесной системы трактора не может дать корректных значений из-за слишком большого количества элементов с множеством степеней свободы.

- Диагностику гидравлической системы навески колёсного трактора можно объединить с общей диагностикой пневматической и гидравлической системам, рисунок 1.23.



Рисунок 1.21 - Способы диагностики гидравлического и пневматического оборудования колёсного трактора

При исследовании этих систем детально следует обратить внимание на исследование уровня гидравлической жидкости и параметров давления в системе.

Уровень жидкости, как правило, связан с герметичностью системы и успешной эксплуатацией оборудования, давление в свою очередь свидетельствует об эффективности работы насосов. В исследованиях, проведённых Д. М. Скороходовым и Д. Н. Песковацко, подробно рассмотрены методы анализа уровня жидкости с использованием современных датчиков, а также алгоритмы комплексной оценки неисправностей [91].

Вибрационная диагностика гидравлического и пневматического оборудования колёсного трактора относится в большей степени к исследованиям работы гидравлического и пневматического насосов, её результаты свидетельствуют о состоянии их внутренних элементов.

При этом тестирование давления позволяет не только определить текущие эксплуатационные параметры, но и предотвратить потенциально катастрофические сбои, связанные с течью и пробоями, которые нарушают герметичность системы. В этом направлении исследования Д. М. Скороходова и Д. Н. Песковацко освещают методики, базирующиеся на использовании многоуровневых систем тестирования, включающих в себя применение демпфированных датчиков для минимизации искажений данных.

Современные измерительные приборы и стенды позволяют достичь высокой точности при проведении диагностики, что крайне важно для обеспечения надёжности и долговечности работы колёсных тракторов в условиях их интенсивной эксплуатации. Здесь нельзя обойти стороной работы В. А. Бурмистрова, В. Н. Волкова и Р. С. Тимохова, которые разработали методы диагностики, связанные с испытаниями на специализированных стендах и экспериментальные подходы, направленные на оценку герметичности и прогнозирование выхода из строя отдельных компонентов системы [92].

Исследования по диагностированию узлов крепления к несущим элементам рамы и кузова, рисунок 1.24 представлены следующими авторами.

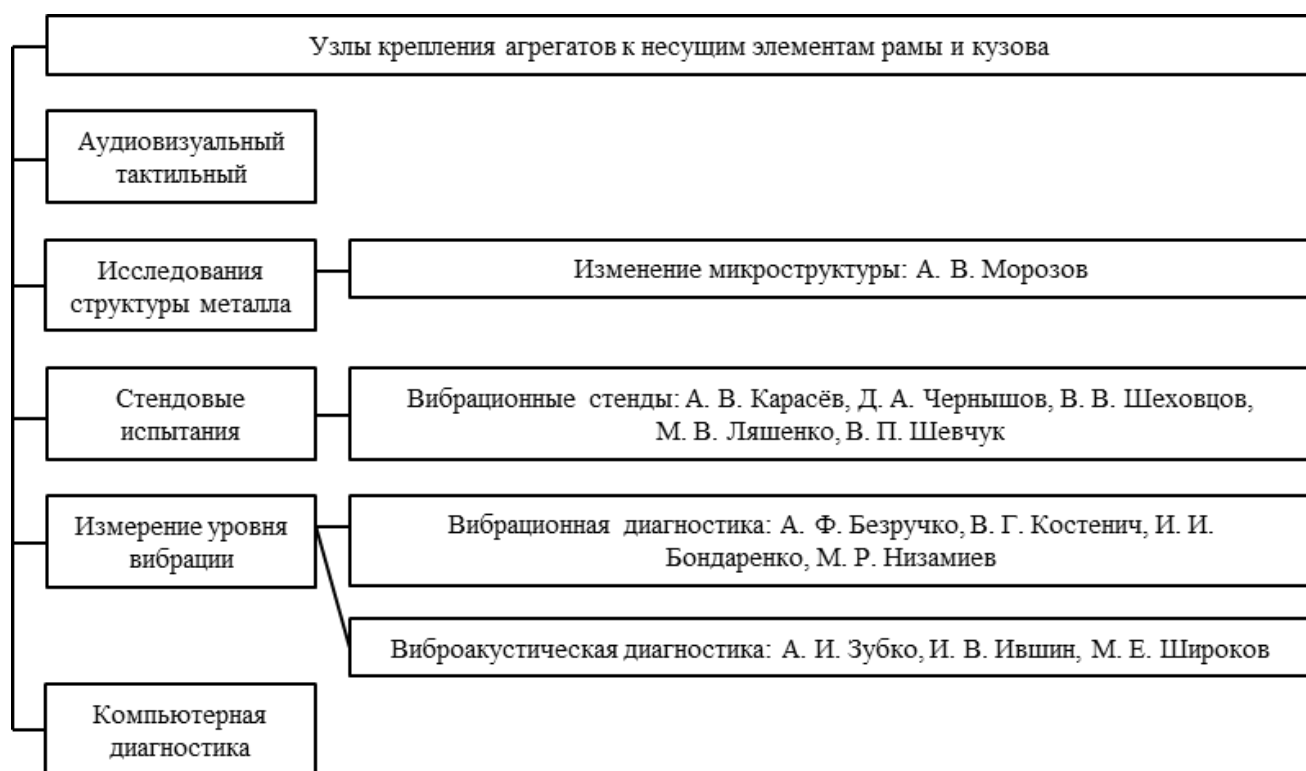


Рисунок 1.22 – Способы диагностики узлов крепления агрегатов к несущим элементам рамы и кузова

Диагностирование узлов крепления агрегатов к несущим элементам рамы и кузова, на современном этапе техники рассматривается достаточно редко, и основывается в большинстве случаев на органолептических или аудиовизуальных способах определения их технического состояния.

Изучением изменения микроструктуры как было описано выше занимались А. В. Морозов [85].

Так же достаточное количество работ посвящено вибрационным стендам, а именно А. В. Карасёв предложил использовать метод основанный на применении пик-фактора в качестве оценочного параметра демпфирования [93]. Д. А. Чернышов в своей работе приводит разработку вибрационного стенда основой которого стала шатунная шейка с двумя переточенными коренными шейками. Более обширными можно считать исследования В. В. Шеховцова, М. В. Ляшенко и В. П. Шевчук, авторы предлагают конструкцию стенда для испытаний виброизоляторов при действии нагрузок с осевой и боковой составляющими, по патенту РФ №112415, а именно диагностирование виброизоляторов кабины

трактора, конструкция стенда позволяет варьировать статическую нагрузку, изменяя массу груза и плечо действия, а также настраивать динамическую нагрузку через эксцентриситет центра тяжести и частоту вращения электродвигателя, что обеспечивает имитацию эксплуатационных нагрузок [94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101].

Изменение уровня вибрации проводилось как при помощи вибрационной диагностики, так и при помощи виброакустики. А. Ф. Безручко, В. Г. Костенич и И. И. Бондаренко в своих исследованиях посвящённых влиянию жёсткости резины на виброизоляционные свойства опор кабины трактора использовали прибор первого класса Октава 101ВМ, они установили, что изменение применяемой резины не может существенно повысить эффективность резинометаллических опор кабины [10]. Приборно-измерительным комплексом и усовершенствованным способом бесконтактного вибрационного контроля состояния деталей работающих узлов и механизмов газовых двигателей посвящена работа М. Р. Низамиева, рассмотрен анализ работы на анализе информативных частот амплитудного спектра собственных колебаний, связанных с определёнными видами дефекта, разработан и создан новый приборно-измерительный комплекс бесконтактного контроля состояния деталей с использованием лазерных методов виброметрии [63].

В исследованиях А. И. Зубкова виброакустический метод диагностики применяется для определения технического состояния подшипниковых опор газотурбинных двигателей, автором предложен и разработан метод и алгоритм диагностики подшипниковых опор по спектральному анализу акустического давления, работающего газотурбинного двигателя [102]. Исследователи И. В. Ившин, М. Е. Широков и др. предлагают для измерения уровня вибрации установку для виброакустических испытаний ДВС, основанную на использовании лазерного виброметра, который располагается на расстоянии от 0,2 мм. до 1 мм. от механизмов двигателя [25, 63, 103].

К компьютерной диагностике в определённом смысле допустимо отнести вышеперечисленные способы, связанные с приборами для вибродиагностике и вибродиагностическими стендами, так как для вывода информации и определения

технического состояния оборудования в большинстве случаев используются персональные ЭВМ. Так же электронно-вычислительные машины позволяют использовать сложные алгоритмы, основывающиеся на анализе полученных данных при помощи различных алгоритмов, в том числе при помощи алгоритма Байеса.

Диагностика сельскохозяйственной техники в Амурской области требует комплексного подхода, включающего визуальный осмотр, проверку работы основных узлов и агрегатов, а также использование специализированного оборудования. Выбор метода диагностики зависит от типа техники, её возраста и условий эксплуатации.

Повышению эффективности диагностики, а также контролю состояния объектов посвящены исследования следующих авторов: Арженовский А. Г., Тимашов Е. П., Редреев Г. В., Лесник Н. А., которые в том числе разрабатывали технические устройства для измерения ускорения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания, разработали методику и техническое устройство для определения действительного приведенного момента инерции двигателей [69, 70, 71].

Разработкой новых средств и приборов, предназначенных для диагностики тяговых характеристик и методов стендовых испытаний в агропромышленном комплексе занимались авторы Дунаев А. В., Ильин П. А., которые в исследованиях предлагали внедрение экспресс-метода и формулы расчёта остаточного ресурса цилиндропоршневой группы ДВС по корреляционной связи вакуума и компрессии в цилиндрах, так же затрагивал тему имитационного моделирования Тарасенко Б. Ф., который определил зависимость скорости компьютерного анализа прочности рамы от количества деталей имитационной модели [104].

Снижение трудоемкости диагностики техники в сельском хозяйстве играет ключевую роль в повышении производительности труда и снижении себестоимости продукции. Снижению трудоёмкости самыми различными способами, в том числе при помощи разработки более функциональных средств диагностики занимались: Прокопков С. П., Егоров В. В, Баженов Ю. В, Каленов В.

П., ими была предложена методика прогнозирования остаточного ресурса конструктивных элементов ЭСУД с использованием доверительных интервалов [105].

А.Т. Осяев, С.В. Ленков, В.А. Смирнов в своих работах занимались внедрением вибродиагностических комплексов в систему обслуживания и ремонта тягового подвижного состава, так же ими рассматривались проблемы оптимизации использования вибродиагностической технологии для обеспечения жизненного цикла тягового подвижного состава (ТПС) [106].

Исследованиям зубчатых передач механических трансмиссий магнитоэлектрическим способом посвящены работы Моргалик Бориса Марковича, целью исследований являлась оценка технического состояния зубчатых передач механических трансмиссий за счёт их мониторинга магнитоэлектрическим способом, которое обеспечило прогнозирование остаточного ресурса, снижение трудоёмкости и повышение оперативности оценки технического состояния зубчатых передач механических трансмиссий [107].

В работе автором выявлены закономерности, положенные в основу магнитоэлектрического способа мониторинга, заключающегося в том, что в тяговом режиме работы зубчатых передач кинематической цепи значение контролируемого сигнала определяется отношением произведения количества зубьев источника опорного сигнала и передаточного числа к количеству зубьев источника выходного сигнала кинематической цепи, а тормозном режиме работы зубчатых передач кинематической цепи значение контролируемого сигнала, характеризуется разрывом и замыканием контакта в зацеплении, произведением геометрических параметров зубчатых передач и отношения произведения количества зубьев источника опорного сигнала и передаточного числа к количеству зубьев источника выходного сигнала кинематической цепи.

Зависимость величины контролируемого сигнала от геометрических параметров зубчатых передач, позволяющая установить значение контролируемого сигнала исходя из текущей величины износа боковой поверхности зубьев зубчатых передач предложено было определять по формуле:

$$\begin{aligned}
n_p = & \sum_{k=1}^i \left(\frac{\left((j_k + \Delta j_k) \cdot \prod_{L=1}^k \frac{z_{1L}}{z_{2L}} \right) \cdot z_{\text{ВЫХ}}}{\pi \cdot m_{\text{ВЫХ}}} \cdot \frac{z_{\text{max}} \cdot u_p}{z_{\text{ВЫХ}}} \right) + \\
& + \sum_{q=1}^e \left(\frac{\left(\left(\frac{j_q + \Delta j_q}{r_{\text{шл.ш./зМ}}} \right) \cdot \left(\frac{z_{\text{шл.ш./зМ}} \cdot m_{\text{шл.ш./зМ}}}{2} \right) \cdot \prod_{M=1}^q \frac{z_{1L}}{z_{2L}} \right) \cdot z_{\text{ВЫХ}}}{\pi \cdot m_{\text{ВЫХ}}} \cdot \frac{z_{\text{max}} \cdot u_p}{z_{\text{ВЫХ}}} \right) \quad (1.1)
\end{aligned}$$

где $j_k, \Delta j_k$ — гарантированный боковой зазор и дополнительная величина бокового зазора, определяющая износ боковой поверхности зубьев зубчатых передач, мм; $j_q, \Delta j_q$ — гарантированный боковой зазор и дополнительная величина бокового зазора, определяющая износ боковой поверхности зубьев зубчатых муфт, мм; i — общее количество зубчатых передач; e — общее количество шлицевых участков и зубчатых муфт; z_{1L} — число зубьев шестерни L -ой степени исследуемой кинематической цепи; z_{2L} — число зубьев колеса L -ой степени исследуемой кинематической цепи; z_{1M} — число зубьев шестерни M -ой степени исследуемой кинематической цепи; z_{2M} — число зубьев колеса M -ой степени исследуемой кинематической цепи; z_{max} — число зубьев; u_p — передаточное число диагностической цепи; $r_{\text{ВЫХ}}$ — число зубьев ведомого зубчатого колеса, возле которого установлен датчик в диагностируемой цепи; $z_{\text{шл.ш./зМ}}$ — число зубьев выходного вала (зубчатой муфты); $m_{\text{шл.ш./зМ}}$ — модуль зубьев шлицевого элемента, мм; $m_{\text{ВЫХ}}$ — модуль ведомого (выходного) зубчатого колеса, мм.

Так же автором получены зависимости величины контролируемого сигнала от геометрических параметров зубчатых передач.

Вибрационным диагностированием и прогнозированием состояния механических передач тракторов занимался исследователь Мачнев Валентин Андреевич, в своей работе он поставил целью разработать методы и средства диагностирования механической передачи сельскохозяйственных машин для повышения их работоспособности в процессе эксплуатации.

В своей работе автор определил дифференциальное уравнение колебаний ведущей зубчатой передачи заднего колёсного моста трактора МТЗ-80(82) ($Z_1 = 27$, $Z_2 = 38$):

$$\ddot{x} + 108\dot{x} + \frac{c_1 c_2 (m_1 + m_2)x}{m_1 m_2 (c_1 + c_2)} = Q \cdot \sin \frac{\pi n z_1 t}{15} \quad (1.2)$$

где X — отклонение точки контакта зубьев от их равновесного положения, м; c_1, c_2 — коэффициенты жёсткости ведущего и ведомого колеса, Н/м²; m_1, m_2 — приведённая масса колёс, кг; Q — статическая нагрузка, приходящаяся на единицу массы, Н.

Решение этого уравнения показывает, что сила, вызывающая смещение точки контакта при вращающем моменте 112 Н·м, равна 11650 Н, а в резонансе - 17600 Н. Как видим, имеется многократное превышение динамической силы, возникающей из-за колебаний перед статической, равной 2330 Н.

Сопоставляя частоту собственных колебаний с частотой вынужденных, автор получает частоту вращения, соответствующую резонансному режиму:

$$n_p = \frac{15}{\pi z_1} \sqrt{\frac{c_1 c_2 (m_1 + m_2)}{m_1 m_2 (c_1 + c_2)}} \quad (1.3)$$

По данной формуле определится резонанс, называемый параметрическим, при котором наблюдается максимальная динамическая нагрузка

Автор установил, что использование средств вибрационного диагностирования КИ-12435 ГОСНИТИ, КИ-13920 ГОСНИТИ и др. позволяют сократить трудоёмкость проверки, повысить точность измерений параметров и прогнозирования остаточного ресурса. Применение компьютерной программы для диагностирования, прогнозирования и поиска неисправностей значительно облегчает труд диагноста [108].

Таким образом определено, что научные изыскания в направлении применения инклинометрических приборных комплексов и гироскопических систем для изучения объектов диагностирования, таких как сельскохозяйственные машины и тракторы, рассматривались только в работах, посвящённых виброакустической диагностике, при этом осуществлялось отвлечение трактора от выполнения полевых операций, что делает проводимые исследования

актуальными, прогнозируя их успешное внедрение и применение в промышленной и аграрной сфере.

1.5 Обзор предлагаемых методик и технических решений для исследования технического состояния колёсных тракторов в агропромышленном комплексе

При проведении детального патентного поиска и осуществления разработки технического задания, направленного на формирование технического решения с заданными свойствами, в частности способа инклинометрического исследования для узлов и агрегатов трактора в известном уровне техники согласно международной классификации изобретений произведён анализ диагностических средств и способов, которые позволили установить следующие аналоги и прототипы.

Известен способ (RU 2013756 С1 «Способ прогнозирования технического состояния подшипников качения», 30.05.1994), заключающийся в измерении вибрации наружного корпуса механизма при замедляющемся вращении вала агрегата на выбеге. На первом этапе экспериментально строят зависимости амплитуд вибросигналов от наработки подшипников для формирования диагностических моделей. На втором этапе измеряют вибросигналы на месте эксплуатации, сопоставляют их с моделями и оценивают остаточный ресурс подшипника. Недостатком известного способа является необходимость предварительного разгона вала до скорости, при которой частоты, возбуждаемые элементами подшипника, превышают резонансную частоту наружного корпуса контролируемого механизма [109].

Известен способ диагностики подшипников качения (SU 1719953 А1 «Способ контроля подшипника роторной системы», 15.03.1992), включающий измерение вибрации по окружности корпуса подшипника и определения места на корпусе, в котором величина среднеквадратичного отклонения амплитуды вибрации наибольшая. Измеряют интервалы времени между выбросами вибрации,

превышающими три среднеквадратических отклонения, вычисляют средний интервал и его отклонение, определяют коэффициент вариации. Наличие и размер дефектов подшипника определяют по интервалам и коэффициенту вариации, сравнивая с эталонными зависимостями. Недостатком данного метода является отсутствие возможности проведения измерений вибрации по окружности корпуса подшипника непосредственно в условиях эксплуатации агрегата, что существенно ограничивает его практическое применение [110].

Известен метод диагностики повреждений деталей машин (патент РФ №2540195, Б.И. №4, 10.02.2015), основанный на регистрации амплитудных выбросов вибрации на ранних стадиях дефектов. С помощью компьютерной системы мониторинга измеряют вибрацию в информативных точках корпуса машины в характерной полосе частот, контролируют изменения тренда вибрации во времени, сравнивают его с критическими границами и оценивают техническое состояние машины и её деталей. Для этого анализируют скачкообразные изменения вибрации в процессе эксплуатации, устанавливают период измерений существенно меньше длительности выбросов вибрации, запоминают амплитуды выбросов, превышающие установленный порог (например, на 20% выше текущего значения тренда), и принимают амплитуду первого выброса вибрации как начальное значение повреждения. Контролируются отношения амплитуд последующих выбросов к первому выбросу (A_n/A_1) и относительные приращения амплитуд (A_n/A_{n-1}). На основе трендов амплитудных выбросов, их соотношений и приращений, сравниваемых с критическими границами, определяется состояние машины, стадия и степень повреждения её деталей [111].

Известен способ диагностики двигателя (патент РФ №2491526, Б.И. №24, 27.08.2013), способ может включать в себя этапы, на которых принимают запрос на диагностирование системы двигателя, доставляют диагностический модуль абоненту и присоединяют диагностический модуль к системе двигателя. Способ включает диагностику системы двигателя на основе данных диагностического модуля и предоставление помощи в ремонте. При этом повторно измеряют параметр системы, генерируют соответствующие данные и передают их в

диагностический модуль. Технический результат — упрощение ремонта и обслуживания на основе диагностики [112].

Известен способ определения технического состояния двигателя внутреннего сгорания и электронное устройство для его осуществления (патент РФ RU 2474715 С1, Б.И. №4, 10.02.2013). Способ определения технического состояния двигателя внутреннего сгорания основан на измерении амплитуды пульсаций давления в центральной масляной магистрали в промежутке от фильтра до подшипников коленчатого вала во время работы двигателя под нагрузкой. Измерения проводятся на движущемся транспортном средстве с использованием электронного устройства, которое одновременно фиксирует уровень масла в картере двигателя. Полученные данные о пульсациях давления сравниваются с эталонными значениями, характерными для нового двигателя. На основании анализа отклонений амплитуд пульсаций от эталонных величин, а также с учетом уровня масла в картере, система корректирует частоту вращения коленчатого вала, обеспечивая его безаварийную эксплуатацию. Электронное устройство с тензометрическим или пьезоэлектрическим датчиком давления, подключённым к центральной масляной магистрали, усилителем сигнала в одном корпусе с датчиком и контроллером в блоке управления, измеряющим и запоминающим сигналы [113].

Проведённый анализ, сформированный на основе работ авторов по тематике исследования, показывает, что наиболее перспективным учитывая наличие именно колёсной техники в хозяйствах области, является безразборная диагностика для предупреждения и предотвращения поломок сельскохозяйственной техники, и современным представляется вибрационная диагностика. Особенно это актуально для техники, не имеющей встроенных средств контроля технического состояния или для техники, чьи встроенные средства контроля перестали быть актуальны в связи с уходом производителя с рынка Российской Федерации.

1.6 Обзор приборно-диагностических комплексов для вибрационной диагностики

Вибрационная диагностика колёсных тракторов представляет собой современный высокоточный метод технического контроля, позволяющий выявлять неисправности и оценивать состояние основных систем сельскохозяйственной техники. Данный метод диагностики основывается на анализе вибрационных процессов, таких как угловое ускорение или частота колебаний, возникающих в ключевых компонентах тракторов в особенности в узлах которые имеют детали вращения или элементы производящие возвратно поступательные движения. Вибрационная диагностика может применяться для анализа работы двигателя внутреннего сгорания, коробок переключения передач, бортовых передач, валов и муфт.

Преимущества применения вибрационной диагностики заключаются в возможности раннего выявления неисправностей, что улучшает стратегию обслуживания в реальном времени и повышает надёжность тракторов. Своевременное устранение проблем способствует увеличению срока службы техники и повышению безопасности её эксплуатации, особенно в сложных условиях работы, включающих в себя продолжительные нагрузки какими являются сельскохозяйственные операции. Своевременное выявление проблем, связанных с техническим состоянием колёсных тракторов позволяет обеспечивать более высокий уровень безопасности при проведении сельскохозяйственных операций особенно в условиях повышенных нагрузок.

Среди приборов, предназначенных для безразборной вибрационной диагностики тракторов, можно выделить виброметры, которые позволяют измерять уровень вибраций, амплитуду и частоту колебаний в различных узлах машины, таких как двигатель, трансмиссия, ходовая часть их отдельных узлов и элементов, а так же виброметры позволяют проводить непосредственный анализ полученных данных, передавать полученную информацию на портативные переносные или карманные устройства, что в свою очередь позволяет делать

выводы о состоянии техники в кратчайшие сроки и с большой точностью, рисунок 1.25.

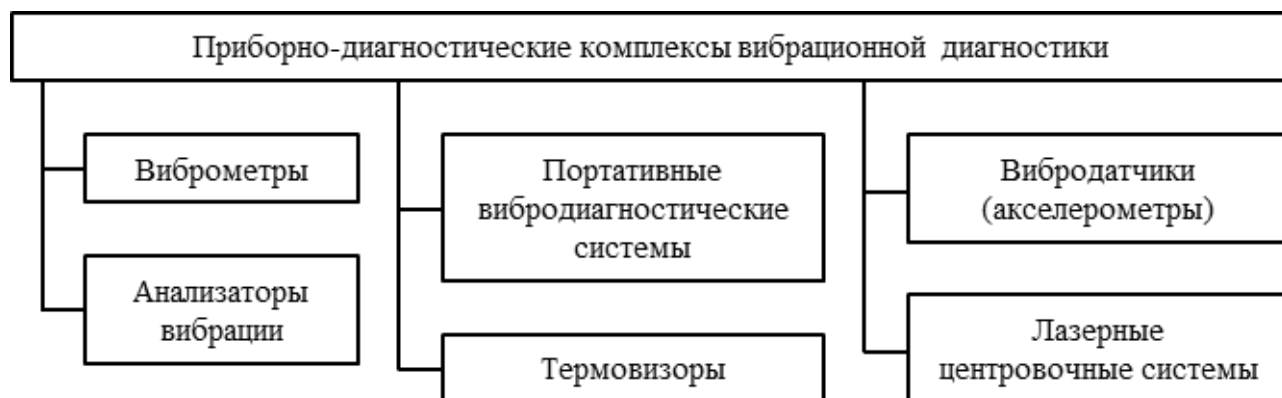


Рисунок 1.23 - Приборно-диагностические комплексы вибрационной диагностики

Для безразборной вибрационной диагностики тракторов используются следующие типы приборов и оборудования:

1. **Виброметры** – предназначены для измерения уровня вибрации в рабочих узлах и агрегатах [64, 114].

Они работают на основе принципа, который включает:

– Датчик вибрации: Основой виброметра является датчик, чаще всего представляющий собой пьезоэлектрический элемент или акселерометр. Эти элементы преобразуют механические колебания в электрические сигналы.

– Измерение амплитуды и частоты: Что позволяет определить уровень вибрации в разных режимах работы агрегатов.

– Вывод данных в виде графических и числовых значений для мониторинга состояния техники оператором.

2. **Анализаторы вибрации** – представляют из себя более сложные устройства, которые после сбора данных при помощи акселерометров, проводят анализ данных при помощи преобразований Фурье для разложения сигнала на его составляющие, что позволяет визуализировать амплитуду в зависимости от частоты и интерпретировать данные для обеспечения диагностики разнообразных неисправностей до их фактического обнаружения [115, 116].

3. Портативные вибродиагностические системы – представляют собой многофункциональные приборы, предназначенные для комплексной диагностики технического состояния узлов оборудования, поскольку они совмещают функции виброметров, анализаторов вибрации, термографов и т. п., обеспечивая сбор данных для измерения вибрации, температуры, давления и других параметров, а также их последующую обработку в едином интерфейсе посредством встроенного программного обеспечения, которое генерирует отчеты, графики и рекомендации для персонала проводящего ремонтные операции [117, 118].

4. Вибродатчики (акселерометры) – Вибродатчики или акселерометры функционируют на основе пьезоэлектрических, электростатических или микроэлектромеханических чувствительных элементов, которые преобразуют механические колебания в электрические сигналы, а они в свою очередь транслируются через специализированный интерфейс или диагностические комплексы для обработки или интерпретации параметров вибрации [119].

5. Лазерные центровочные системы – применяются для проверки соосности валов, что важно для устранения избыточных вибраций [64, 120]. Лазерный луч направляется и фиксируется детектором, который определяет положение луча, позволяя увидеть любые отклонения, при помощи компьютерной обработки данных позволяет вычислить углы и расстояния, идентифицируя отсутствие соосности, интерпретируя информацию в понятный для оператора внешний вид.

6. Термовизоры – хотя не являются строго вибродиагностическими приборами, но часто используются в комплексе для выявления проблемных зон [121]. Термографы используют инфракрасные камеры для обнаружения теплового излучения, которое исходит от объектов. Измеренные температуры помогают выявить перегрев узлов и механизмов.

Проведённый анализ позволяет предложить принципиальную схему применения вибродиагностических комплексов для использования в качестве средства безразборной диагностики и фиксации технических параметров узлов и агрегатов трактора, рисунок 1.26 [122].



Рисунок 1.24 – Схема применения вибродиагностических комплексов

1. Двигатель внутреннего сгорания: Комплексная оценка состояния всех подвижных частей двигателя, включая цилиндропоршневую группу, кривошипно-шатунный механизм, клапаны и ременные приводы.

2. Кабина водителя нуждается в вибрационной диагностике по причине паразитарных вибраций, влияющих на состояние и здоровье оператора.

3. Рама трактора является общим резонатором всех вибраций трактора, по повышенной вибрационной нагрузке её частей можно определить в каком конкретно узле присутствует неисправность или может присутствовать ослабленное крепление элементов.

4. Анализ работы основных элементов трансмиссии, таких как: сцепление, коробка передач, главная передача и дифференциал.

5. Мониторинг работы навесного оборудования, а именно гидроцилиндров, гидравлического оборудования, насосов и валов отбора мощности.

6. Рабочие органы: Диагностика вибраций навесного оборудования, такого как плуги, сеялки и другое прицепное или навесное оборудование.

7. Узлы крепления можно диагностировать так же как все вышеперечисленные компоненты.

1.7 Обоснование выбора объекта для проверки заявленных характеристик разрабатываемого комплекса

Проведённым анализом установлено, что в рассматриваемом уровне техники отсутствует способ инструментальной проверки состояния опор двигателя, тогда как необходимость их замены связана не только с высокой трудоёмкостью операции, но и часто заставляет эксплуатантов пойти на прекращение использования высокоэффективной техники вследствие отсутствия необходимых запасных частей на складе или их дефицитом (для зарубежной техники). Таким образом, возникает регулярная необходимость их диагностирования, что возможно при применении современных способов безразборного диагностирования без отрыва техники от проведения работ.

Конструктивно узлы крепления агрегатов к несущим элементам рамы и кузова трактора представляют собой различные соединения и компоненты, обеспечивающие прочность и стабильность конструкции, рисунок 1.27.

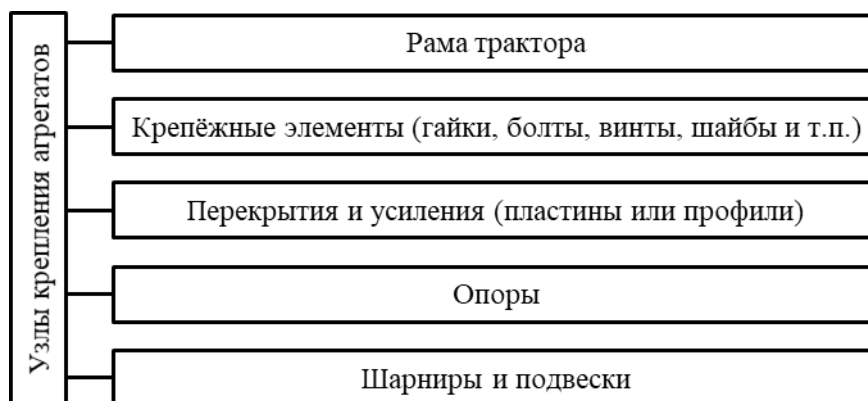


Рисунок 1.25 – Узлы крепления агрегатов

Опоры двигателя внутреннего сгорания, известные также как подушки двигателя, необходимы для стабильной работы и эффективного функционирования силового агрегата. Они обеспечивают надёжное крепление двигателя к кузову или раме, а также играют ключевую роль в демпфировании вибрационных колебаний.

Основные функции подушек двигателя включают фиксацию двигателя в заданном пространственном положении, минимизацию передачи вибраций на раму трактора, предоставление определённой степени амортизации, что значительно повышает комфорт и безопасность эксплуатации тракторного агрегата [123, 124, 125, 126, 127, 128].

С точки зрения классификации, подушки двигателя могут быть разделены на несколько категорий в зависимости от конструкции и используемых материалов. В частности, наиболее распространёнными являются резинометаллические и гидравлические опоры, каждая из которых обладает специфическими характеристиками и эксплуатационными преимуществами, соответствующими различным условиям работы и требованиям. Резинометаллические опоры характеризуются простотой конструкции и высокой эффективностью в демпфировании, в то время как гидравлические опоры предлагают повышенные показатели снижения вибраций, за счет использования специальной жидкости для компенсации динамических нагрузок. Классификация опор двигателя представлена на рисунке 1.28.



Рисунок 1.26 – Классификация опор (подушек) двигателя внутреннего сгорания

Классификация опор двигателя по материалу:

1. Резинометаллические, рисунок 1.29. Наиболее распространённый тип опор, что в большинстве случаев связано с дешёвизной производства и простотой конструкции. Могут иметь различную жёсткость резины и различную конструкцию, что обеспечивает необходимую жёсткость и вибродемпфирование.



Рисунок 1.27 – Резинометаллические опоры

2. Пневматические, рисунок 1.30. Имеют конструкцию, схожую с колесом автомобиля. Являются опорами с изменяемыми характеристиками, наполняются воздухом при помощи компрессора, а клапаны и датчики позволяют регулировать давление и высоту опоры, имеют как механическое, так и электронное управление параметрами.



Рисунок 1.28 – Пневматические опоры

3. Гидравлические, рисунок 1.31. Имеют самую сложную конструкцию, чаще выходят из строя, но взамен представляют адаптивное гашение вибрационных нагрузок, например, при повышении оборотов двигателя. Подразделяются на 3 способа изменения характеристик:

- С электронным управлением. За степень жёсткости конструкции при увеличении или снижении оборотов двигателя полностью отвечает электроника. Например, опора может становиться мягче на холостом ходу и жёстче в движении.
- С вакуумным управлением. Благодаря работе вакуума опора становится мягкой на холостых и малых оборотах двигателя, а на высоких оборотах — жёсткой.
- Динамические. В качестве рабочего наполнителя в них применяется жидкость с микрочастицами металла, которая обладает магнитными свойствами. Вязкость жидкости изменяется под действием магнитного поля, что позволяет менять жёсткость опоры в зависимости от условий движения.



Рисунок 1.29 – Гидравлические опоры

4. Полиуретановые. По конструкции сходны с резинометаллическими, но более устойчивы к термическим и климатическим факторам, а также инертны к автомобильным маслам, бензину и смазкам, рисунок 1.32.



Рисунок 1.30 – Полиуретановые опоры

Классификация по конструктивным особенностям:

1. По способу крепления. Возможны опоры с верхним и боковым креплением, а также с через центральное отверстие. Разные варианты крепления используют в зависимости от конструктивных особенностей автомобиля и типа двигателя.

2. Опоры с вертикальным и горизонтальным расположением: Некоторые опоры, особенно на спортивных моделях, могут иметь специфическую форму и конструкцию для обеспечения максимальной жёсткости и устойчивости при высоких нагрузках.

3. Опоры с изменяемыми характеристиками, к ним относятся пневматические с механическим и электронным управлением, а также гидравлические с механическим и электронным управлением и динамические. Имеют изменяемые характеристики [129].

Таким образом, подушки двигателя внутреннего сгорания, играющие многогранную, ответственную и важную роль в работе автомобиля, обоснованно заслуживают внимания как с точки зрения проектирования, так и с точки зрения выбора оптимальных решений для конкретных транспортных средств. Разнообразие их конструктивных и технологических решений позволяет эффективно адаптировать подвесные системы к специфическим требованиям каждого типа автомобиля, что является важным аспектом для достижения комплексной надежности и долговечности современных транспортных средств. Следовательно, их диагностика представляется необходимой манипуляцией, позволяющей получить оперативные данные о техническом состоянии.

1.8 Выводы

В первой главе диссертации:

- Сделан обзор наличия и качественного состава средств механизации в агропромышленном комплексе Амурской области. Установлено, что оптимизация системы сервисного и технического обслуживания, ремонта остаётся

ключевой задачей в повышении эксплуатационной надёжности сельскохозяйственной техники в особенности колёсных тракторов, так как повышение качества и оперативности ремонта и обслуживания напрямую способствует снижению простоев техники, улучшению её производительности, повышению эксплуатационных коэффициентов, а также продлению срока эксплуатации без значительных капиталовложений в обновление парка, что возможно своевременным применением диагностических методов и способов.

- Изучено современное состояние форм и методов, способов и средств мобильного и стационарного диагностирования, представлена разработанная классификация средств определения неисправностей, дан анализ способов исследования технического состояния колёсных тракторов и сельскохозяйственных машин в агропромышленном комплексе. Установлено, что методы диагностики позволяют на должном уровне провести исследование параметров машин и сельскохозяйственной техники. Однако известное приборное оборудование рассчитано только на использование при одном выбранном способе диагностики, что позволяет достаточно обоснованно предположить, что применение единого приборного комплекса при совмещении нескольких способов диагностики будет востребовано производством и является перспективным направлением исследований.

- Определено, что научные изыскания в направлении применения инклинометрических приборных комплексов и гироскопических систем для изучения объектов диагностирования, таких как сельскохозяйственные машины и тракторы, рассматривались только в работах, посвящённых виброакустической диагностике, при этом осуществлялось отвлечение трактора от выполнения полевых операций, что делает проводимые исследования актуальными, прогнозируя их успешное внедрение и применение в промышленной и аграрной сфере.

- Теоретическими исследованиями доказано, что подушки двигателя внутреннего сгорания, играющие многогранную, ответственную и важную роль в работе колёсного трактора, обоснованно заслуживают внимания как с точки зрения

проектирования, так и с точки зрения выбора оптимальных решений для конкретных транспортных средств. Широкий выбор конструкторских решений позволяет адаптировать подвеску под любой тип автомобилей и тракторов, обеспечивая их надёжность и долговечность. Следовательно, их диагностика под нагрузкой при проведении работ представляется необходимой манипуляцией, позволяющей получить оперативные данные о техническом состоянии.

- Установлено, что для определения необходимых средств получения и фиксации диагностических параметров, формализации и поиска известных и изыскиваемых научных материалов, необходимо проведение дальнейших исследований.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОДБОР ЭЛЕМЕНТОВ ЦИФРОВОГО ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА БЕЗРАЗБОРНОЙ ДИАГНОСТИКИ

2.1 Выбор низкочастотных средств диагностирования с расширенными характеристиками для формирования цифрового инклинометрического комплекса

Проведённым анализом и обзором концепции применения, методов и способов диагностирования установлено, что наиболее масштабным и наименее затратным в применении представляется метод виброакустической диагностики. Вместе с тем известные и используемые в производства и промышленности приборные средства обладают достаточно узкими характеристиками, что определило направление теоретического исследования и поиск приборных средств с наиболее широкими замеряемыми и фиксируемыми параметрами.

Таким образом установлен перечень аналогов, соответствующих разрабатываемому функционалу приборно-диагностического комплекса.

Виброметры. - Вибротест-МГ4 предназначены для контроля амплитуды и частоты синусоидальных колебаний виброустановок, применяемых для уплотнения бетонных смесей при производстве железобетонных изделий, а также для измерения параметров вибрации других объектов, рисунок 2.1.



Рисунок 2.1 – Внешний вид вибротеста Вибротест-МГ4

Основные показатели прибора представлены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Технические характеристики виброметра Вибротест-МГ4

Цена виброметра, рублей	102 900
Диапазон измерений частоты механических колебаний, Гц	10...100
Диапазон измерений амплитуды виброперемещения, мм	0,1...3
Предел допускаемой основной относительной погрешности измерения амплитуды, виброскорости и виброускорения, %	± 5
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения частоты механических колебаний в диапазоне: 10...100Гц	± 0,5 Гц
Объем памяти результатов измерений	500
- электронного блока	175x90x30
- вибропреобразователя	ø24x50
Масса прибора с вибропреобразователем, кг	0,35

Виброметр обеспечивает измерение, с фиксацией результатов в энергонезависимой памяти. Крепление вибродатчика - магнитное (посредством магнитной платформы) или винтовое (винтом М5х7мм). К недостаткам устройства можно отнести замеры только двух показателей - частоту механических колебаний и амплитуду виброперемещения, а также наличие только одного выносного датчика-фиксатора [130].

-Беспроводной виброметр ВС – 473 – 200 (500) предназначен для измерения виброускорения, виброскорости и виброперемещения в диапазоне частот от 0,5 до 1000 Гц, рисунок 2.2.

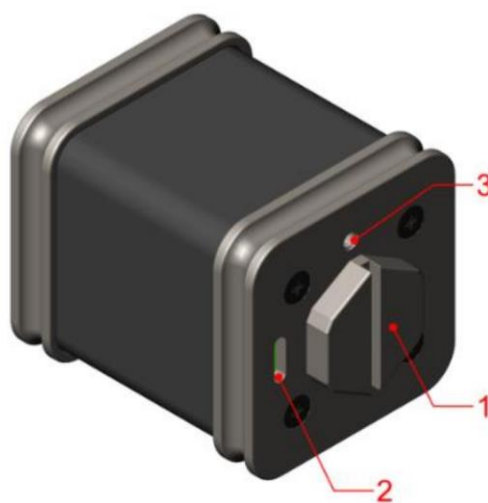


Рисунок 2.1 – Основные элементы корпуса ВС-473 (1 – крышка батарейного отсека; 2 – порт USB Type-C; 3 – трёхцветных индикатор)

Работает с программным обеспечением (ПО) на базе ОС Android, которое обеспечивает приём данных от виброметра. Результаты измерений и расчётные величины представляются в ПО в виде графиков и данных. Технические данные устройства даны в таблице 2.2.

Таблица 2.2-Технические характеристики виброметров ВС-473-200, ВС-473-500

Наименование характеристики	Значение	
	ВС-473-200	ВС-473-500
Диапазон измерений амплитудных значений ускорения, м/с ²	от 1 до 392 от 10 до 1960	от 1 до 4905
Диапазон рабочих частот, Гц: в диапазоне амплитудных значений от 1 до 392 м/с ² в диапазоне амплитудных значений от 10 до 1960 м/с ² в диапазоне амплитудных значений от 1 до 4905 м/с ²	от 0,5 до 1000,0 от 4,0 до 1000,0	от 0,5 до 1000,0
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений виброускорения в диапазоне амплитудных значений до 141 м/с ² , включительно, %	±5	
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений ускорения при ударном движении в диапазоне амплитудных значений свыше 141 м/с ² , %	±5	
Нормальные условия: – температура окружающей среды, °С – относительная влажность воздуха, %	от +18 до +25 от 20 до 80	

Конструктивно виброметр состоит из трёх акселерометров, заключенных в единый корпус, выполненных по технологии MEMS (сориентированных таким образом, чтобы оси каждого из них были взаимно ортогональны в плоскостях X, Y и Z, образуя пространственно-ориентированную ортогональную измерительную матрицу), микроконтроллера, аналогово-цифрового преобразователя, осуществляющего обработку поступающих аналоговых сигналов в цифровой код, постоянного запоминающее устройство для хранения настроек и данных, и вспомогательного оборудования, служащего для беспроводной передачи данных

на мобильное устройство. К недостаткам прибора можно отнести замеры только углового ускорения,

Анализатор вибрации.

- 4-канальный виброанализатор ВИБРАН-3, рисунок 2.3.



Рисунок 2.3 – Внешний вид анализатора вибрации ВИБРАН-3.1

Предназначен для:

- Контроля и регистрации вибраций зданий и сооружений, определения периода основного тона и декремента колебаний;
- Многоканальной вибродиагностики конструкций, фундаментов, оснований, мостовых сооружений, вибрационного оборудования, компрессорных станций;
- Поиска дефектов структуры различных объектов на основе специализированных методик.

Виброанализатор Вибран-3 имеет следующие преимущества:

- Синхронная запись виброколебаний и получение спектра сигналов по 4 независимым каналам;
- Универсальный интерфейс ICP для подключения вибродатчиков и вибродатчики со встроенной электроникой;
- Специальный режим регистрации собственных колебаний зданий и сооружений и, опционально, работа с трёхосевым сейсмодатчиком;

Технические характеристики устройства представлены в таблице 2.3

Таблица 2.3 – Технические характеристики анализатора вибрации
 ВИБРАН-3.1

Параметр	Значение
Диапазон рабочих частот, Гц	2...100 / 5...1000
Количество каналов измерений / осей	4
Диапазон измерения виброскорости*, мм/с	0,1...500
Диапазон измерения виброперемещений*, мм	0,01...10
Количество линий в спектре	200 / 400 / 800
Количество линий в спектре в режиме измерения логарифмического декремента	
Пределы погрешности измерения, %, не более	±5
Объем памяти, Гбайт	до 4
Время регистрации, час**	до 560
Габаритные размеры электронного блока, мм	190x110x32
Масса электронного блока / датчика, кг	0,3 / 0,08

К недостаткам оборудования можно отнести невозможность беспроводного подключения по Bluetooth, ограниченное количество подключаемых датчиков, работа только для фиксации виброколебаний [131].

Портативные вибродиагностические системы.

-VA-12 RION Портативный анализатор вибрации.

Портативный анализатор вибраций, оснащенный функцией быстрого преобразования Фурье (БПФ), рисунок 2.4.



Рисунок 2.4 – Внешний вид портативной вибродиагностической системы VA-12
 RION

VA-12 является инструментом для измерения характеристик вибрации, диагностики машин с вращающимися частями и определения резонансной частоты вибрации объекта. Технические характеристики даны в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – технические характеристики портативного анализатора вибрации VA-12 RION

Параметр	Значение
Ускорение	от 0,02 до 141,4 м/с ²
Мгновенное максимальное ускорение	700 м/с ²
Скорость	от 0,2 до 141,4 м/с
Смещение	от 0,02 до 40,0 мм
Частотный диапазон измерений:	
для ускорения	от 1 Гц до 20 кГц
для скорости	от 3 Гц до 3 кГц
для смещения	от 3 до 500 Гц
для огибающего ускорения	от 1 до 20 кГц
Прочие характеристики	
Питание	12В DC (8 батарей размера AA или от сети 220 В через сетевой адаптер)
Рабочие условия	От -10 до +50 °С
Размеры	214x105x36мм
Масса	850 г

К недостаткам оборудования можно отнести невозможность беспроводного подключения по Bluetooth, ограниченное количество подключаемых датчиков, работа только для фиксации виброколебаний.

-SPM Leonova Diamond, рисунок 2.5.



Рисунок 2.5 – Внешний вид портативной вибродиагностической системы SPM Leonova Diamond

Высокоточная портативная вибродиагностическая система, предназначенная для мониторинга и анализа состояния машин и оборудования с вращающимися частями.

Leonova Diamond предлагает следующие ключевые функции:

1. Измерения вибрации: проведение анализа вибраций и частотных характеристик, за счёт использования преобразования Фурье (БПФ).
2. Тепловизионный анализ: определение перегрева узлов и механизмов.
3. Определение резонансной частоты машин и механизмов.
4. Долговременный мониторинг: проведение анализа динамики изменений.

SPM Leonova Diamond подходит для применения в отраслях:

- Промышленное производство;
- Энергетика;
- Транспорт;
- Нефтегазовая отрасль;
- Горнодобывающая промышленность.

Технические характеристики:

1. 3-х канальное одновременное измерение вибрации;
2. Амплитуда колебаний вибрации (DC) 0 до 40 кГц;
3. Динамический диапазон до 120 дБ;
4. Измерение скорости в диапазоне от 1-120 000 об/мин;

К недостаткам оборудования можно отнести невозможность беспроводного подключения по Bluetooth, ограниченное количество подключаемых датчиков, работа только для фиксации виброколебаний.

Вибродатчики (акселерометры).

- Акселерометр-инклинометр цифровой трёхосевой АЦт90, рисунок 2.6.



Рисунок 2.6 – Внешний вид вибродатчика акселерометра-инклинометра
цифрового трёхосевого АЦт90

Акселерометры-инклинометры цифровые трёхосевые АЦт90 (далее акселерометры) предназначены для непрерывного измерения ускорения по трём взаимно ортогональным осям X, Y, Z, угла наклона по двум осям X, Y и передачи результатов измерений по интерфейсу RS-485 в персональный компьютер для дальнейшей обработки, анализа, хранения.

Акселерометр позволяет также производить измерения температуры встроенным температурным датчиком. Акселерометр предназначен для идентификации собственных частот и форм колебаний строительных сооружений, а также для выполнения комплекса работ по разделению вибраций. Технические характеристики даны в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – технические характеристики вибродатчика акселерометра-инклинометра цифрового трёхосевого АЦт90

Параметр	Значение
Диапазон измерений ускорения по осям X, Y, Z	$\pm 58.8 \text{ м/с}^2$
Пределы допускаемой приведённой к верхнему пределу измерений погрешности измерений ускорения по осям X, Y, Z	$\pm 1\%$
Диапазон измерений углов наклона по осям X, Y	$\pm 90^\circ$
Пределы допускаемой приведённой к верхнему пределу измерений погрешности измерений углов наклона по осям X, Y	$\pm 1\%$
Полный диапазон измеряемых углов наклона	от -179.99° до $+179.99^\circ$
Напряжение питания номинальное	24В
Диапазон допустимого напряжения питания	10 - 36В
Потребляемая мощность	менее 0.5Вт
Среднее значение тока, потребляемого при напряжении питания 24В	8.0 мА
Диапазон рабочих температур	от -40 до $+50 \text{ }^\circ\text{C}$
Габаритные размеры	109x68x33 мм
Масса, не более	0,65 кг

Применение в измерительной системе не механических, а электронно-механических датчиков обеспечивает высокую устойчивость к внешним вибрациям и ударам, позволяя использовать датчик в тяжелых условиях эксплуатации, в том числе в бортовой аппаратуре. Выход акселерометра цифровой,

RS-485. Количество измерительных осей ускорений и виброперемещений – три (трехосевой акселерометр).

К недостаткам оборудования можно отнести невозможность беспроводного подключения по Bluetooth, ограниченное количество подключаемых датчиков, работа только для фиксации виброколебаний.

- Инклинометр-акселерометр BWT901CL, рисунок 2.7.

BWT901CL — это многосенсорное устройство, определяющее ускорение, угловую скорость, угол, а также магнитное поле. Прочный корпус и небольшие размеры делают его идеально подходящим для промышленных приложений модернизации, таких как мониторинг состояния и профилактическое обслуживание. Настройка устройства позволяет заказчику решать широкий спектр задач, интерпретируя данные датчика с помощью интеллектуальных алгоритмов.



Рисунок 2.7 – Внешний вид инклинометра-акселерометра BWT901CL

Научное название BWT901CL — датчик AHRS IMU. Датчик измеряет 3-осевой угол, угловую скорость, ускорение, магнитное поле. Его несомненным преимуществом заключается в алгоритме, который может точно вычислять трехосевой угол и точку нахождения объекта в пространстве, таблица 2.7.

Таблица 2.7 – Технические характеристики инклинометра-акселерометра BWT901CL

Параметр	Значение
Напряжение	3,3-5В
Ток	40 мА
Диапазон	Ускорение: $\pm 16 \text{ м/с}^2$ Угловая скорость: $\pm 2000^\circ/\text{с}$ Магнитное поле: $\pm 4900 \text{ мкТл}$ Угол: X/Z $\pm 180^\circ$, Y $\pm 90^\circ$
Разрешение	Ускорение: $0,004905 \text{ м/с}^2$ Угловая скорость: $0.061 (^\circ/\text{с})$ Магнитное поле: 0.0667 мГс Угол: 0.05°
Точность	Ускорения до 0.01 м/с^2 , угловой скорости до $0.2^\circ/\text{с}$
Выходные данные	Ускорение, угловая скорость, угол, магнитное поле
Расстояние	До 10 метров (на открытой местности)
Батарея	Время работы: 10 часов, ёмкость: 250 мА
размеры	51,3 мм x 36 мм x 15 мм
Вес	20 грамм
Данные	Угол: X Y Z, 3-осевой Ускорение: X Y Z, 3- осевой Угловая скорость: X Y Z, 3- осевой Магнитное поле: X Y Z, 3- осевой
Выходная частота	0.2 Гц — 200 Гц, по умолчанию 10 Гц
Интерфейс подключения	Bluetooth 2.0 / USB

К недостаткам оборудования можно отнести только достаточную габаритность датчика.

- WT9011DCL-BTL5.0 AHRS IMU - это многосенсорное устройство (рисунок 2.8), определяющее ускорение, угловую скорость, угол, а также магнитное поле. Небольшие размеры и богатый функционал делают его идеально подходящим для промышленного применений, для мониторинга состояния, диагностических исследований и профилактического обслуживания, таблица 2.8 [132, 133, 134].



Рисунок 2.8 – Внешний вид акселерометра цифрового WT9011DCL-BTL5.0

AHRS (Attitude and Heading Reference System) и IMU (Inertial Measurement Unit) - это технологии, основанные на инерциальных измерениях, которые используются для определения ориентации, положения и движения объекта в трёхмерном пространстве.

IMU - это устройство, которое измеряет и отчёты о движении объекта с использованием комбинации датчиков. Основные компоненты IMU включают:

1. Гироскопы: измерение угловой скорости, определение вращения объекта относительно осей X(roll), Y(pitch) и Z(Yaw).
2. Акселерометры: измерение линейного ускорения. Определение движения в пространстве и оценки наклона датчика.
3. Магнитометры: определения положения датчика относительно магнитного поля Земли, обеспечение информации для коррекции данных гироскопов.

AHRS - система, которая расширяет возможности IMU, предоставляя данные о ориентации и направлении, включает в себя IMU, и дополнительные алгоритмы обработки данных, которые помогают в определении положения объекта в пространстве, а именно для оценки ориентации, кватернион и алгоритмы фильтрации, которые базируются на использовании фильтрации Калмана и/или

комплементарных фильтрах для сглаживания данных и уменьшения ошибок, связанных с дрейфом гироскопов.

Таблица 2.8 – Технические характеристики акселерометра WT9011DCL

Параметр	Значение
Напряжение	5В
Ток	Рабочий ток: 14 мА, Транслируемый ток: 21 мА, ток в режиме ожидания: 14 мкА - 30 мкА
Диапазон	Ускорение: $\pm 16 \text{ м/с}^2$ Угловая скорость: $\pm 2000^\circ/\text{с}$ Магнитное поле: $\pm 200 \text{ мкТл}$ Угол: $X/Z \pm 180^\circ, Y \pm 90^\circ$
Разрешение	Ускорение: $0,004905 \text{ м/с}^2$, угловая скорость: $0.061^\circ/\text{с}$, магнитное поле: 0.0667 мГс , угол: 0.0055°
Точность	Ускорения до 0.01 м/с^2 , угловой скорости до $0.2^\circ/\text{с}$
Выходные данные	Ускорение, Угловая скорость, Угол
Расстояние	До 90 метров (на открытой местности)
Батарея	Время работы: 8 часов, время зарядки: 2 часов, ёмкость: 130 мА
размеры	23.5мм x 32.5мм x 11.4 мм
Вес	9 грамм
Данные	Угол: X Y Z, 3-осевой, Ускорение: X Y Z, 3- осевой Угловая скорость: X Y Z, 3- осевой, Магнитное поле: X Y Z, 3- осевой, Время, Кватернион
Выходная частота	0.2 Гц — 200 Гц, по умолчанию 10 Гц
Интерфейс подключения	Bluetooth 5.0 / Type-C

Так как датчик объединяет высокоточный гироскоп, акселерометр, температурный датчик, датчик магнитного поля, использует высокопроизводительный микропроцессор, а также усовершенствованный динамический расчет с алгоритмом динамической фильтрации Калмана, который может быстро определять текущее положение датчика в реальном времени, следовательно точку позиционирования объекта в пространстве, имеет возможность беспроводного подключения по Bluetooth неограниченного количества датчиков к компьютеру, при условии обеспечения авторским

программным комплексом, именно эта модель была выбрана базовой для формирования диагностического инклинометрического комплекса для обеспечения целей исследования.

2.2 Определение соответствия показателей, обоснование преобразования математических данных и проведения нормализации показателей для обеспечения работоспособности разрабатываемого приборного комплекса

Как известно код программы представляет собой текст, написанный на языке программирования, содержащий чёткую последовательность определённых манипуляций. В связи с чем эту последовательность необходимо перевести в читаемый математический формат для обеспечения дальнейших формульных действий. Таким образом осуществляется трансформация исходного кода, что представляет определённый научный и практический интерес [135, 136, 137, 138], а также даёт возможность дальнейшего использования получаемой информации в режиме реального времени с использованием прикладных программ типа «ПИТОН».

Внешний вид данных исходного кода программного обеспечения из технической документации датчиков:

Ускорение

Формулы вычисления

$$a_x = ((A_xH \ll 8) | A_xL) / 32768 * 16g \quad (2.1)$$

$$a_y = ((A_yH \ll 8) | A_yL) / 32768 * 16g \quad (2.2)$$

$$a_z = ((A_zH \ll 8) | A_zL) / 32768 * 16g. \quad (2.3)$$

При этом необходимо учесть, что данные отправляются в шестнадцатеричном формате, а не в коде ASCII и передаются последовательно младшим и старшим байтами, и эти два байта также передаются поочерёдно. Но объединены в данные короткого типа со знаком.

Метод конвертации следующий:

Предполагая, что Data - это фактические данные (Ax, Wx, Roll и т.д.), DataH - его старший байт, а DataL – его младший байт, тогда: Data = (short) (DataH << 8 | DataL). Следует отметить, что DataH необходимо преобразовать в подписанные короткие данные. А затем сдвигается, и тип данных Data также является коротким типом со знаком, поэтому что он может представлять отрицательные числа.

Температура

Формула вычисления

$$T = ((TH \ll 8) | TL) / 100 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (2.4)$$

Угловая скорость

Формула вычисления

$$w_x = ((wxH \ll 8) | wxL) / 32768 * 2000 \text{ } (^\circ/\text{s}). \quad (2.5)$$

$$w_y = ((wyH \ll 8) | wyL) / 32768 * 2000 \text{ } (^\circ/\text{s}). \quad (2.6)$$

$$w_z = ((wzH \ll 8) | wzL) / 32768 * 2000 \text{ } (^\circ/\text{s}). \quad (2.7)$$

Угол отклонения

Формула вычисления

$$\text{Roll (X axis) Roll} = ((RollH \ll 8) | RollL) / 32768 * 180 \text{ } (^\circ). \quad (2.8)$$

$$\text{Pitch (Y axis) Pitch} = ((PitchH \ll 8) | PitchL) / 32768 * 180 \text{ } (^\circ). \quad (2.9)$$

$$\text{Yaw (Z axis) Yaw} = ((YawH \ll 8) | YawL) / 32768 * 180 \text{ } (^\circ). \quad (2.10)$$

В преобразовании учтено, что система координат, используемая для установки углового положения сканирующего датчика - это система пространственных координат, используемая в северных широтах планеты, то есть адаптирована для Российской Федерации.

Магнитное поле

Формула вычисления

$$\text{Magnetic (x axis) Hx} = ((HxH \ll 8) | HxL). \quad (2.11)$$

$$\text{Magnetic (y axis) Hy} = ((HyH \ll 8) | HyL). \quad (2.12)$$

$$\text{Magnetic (z axis) Hz} = ((HzH \ll 8) | HzL). \quad (2.13)$$

Кватернион

Формула вычисления

$$Q0=((Q0H<<8)|Q0L)/32768. \quad (2.14)$$

$$Q1=((Q1H<<8)|Q1L)/32768. \quad (2.15)$$

$$Q2=((Q2H<<8)|Q2L)/32768. \quad (2.16)$$

$$Q3=((Q3H<<8)|Q3L)/32768. \quad (2.17)$$

Перевод в математический вид

Чтобы представить формулы (2.1-2.3) в стройной и читабельной математической форме, уберем операции сдвига и побитового И (AND), побитового ИЛИ (OR), побитового исключающего ИЛИ (XOR), побитового отрицания (NOT), заменив их эквивалентными действиями.

Тогда формула для вычисления **углового ускорения** по оси x будет выглядеть так:

$$ax = \frac{(axH \cdot 256 + axL)}{32768} \cdot 16g. \quad (2.18)$$

где axH — старший байт значения акселерометра, axL — младший байт значения акселерометра; $256=2^8$ — коэффициент, эквивалентный сдвигу $\ll 8$; $32768=2^{15}$ — значение, определяемое 16-битной разрядностью регистра, разделенное на половину диапазона (для нормализации); $g=9.8 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения.

Значение двухбайтового регистра ускорения по оси x, разделенного на максимальное возможное значение 215, переводится в единицы ускорения (м/с^2) с учетом диапазона измерений акселерометра ($\pm 16g$).

Общая интерпретация для остальных осей y и z получает значения

$$ay = \frac{(ayH \cdot 256 + ayL)}{32768} \cdot 16g. \quad (2.19)$$

$$az = \frac{(azH \cdot 256 + azL)}{32768} \cdot 16g. \quad (2.20)$$

Так как для диагностирования опор двигателя, проводимого в целях проверки технологических свойств разрабатываемого комплекса, наиболее приемлемым параметром проверки представляется именно угловое ускорение, предлагается ввести коэффициент амплитудного соответствия K_{ac} , для осей фиксации X, Y, Z,

отражающий отклонения в измеряемых параметрах для сравнительного и экспериментального объекта исследования в виде

$$K_{xac} = \frac{A_{xэ} \cdot \nu_{п}}{A_{xc} \cdot \nu_{п}} = \frac{A_{xэ}}{A_{xc}} \leq 1. \text{ -для оси X,} \quad (2.21)$$

$$K_{yac} = \frac{A_{yэ} \cdot \nu_{п}}{A_{yc} \cdot \nu_{п}} = \frac{A_{yэ}}{A_{yc}} \leq 1. \text{ -для оси Y,} \quad (2.22)$$

$$K_{zac} = \frac{A_{zэ} \cdot \nu_{п}}{A_{zc} \cdot \nu_{п}} = \frac{A_{zэ}}{A_{zc}} \leq 1. \text{ -для оси Z,} \quad (2.23)$$

где $A_{xэ}$ – максимальная амплитуда отклонения по оси X экспериментального объекта исследования, м, A_{xc} – максимальная амплитуда отклонения по оси X сравнительного объекта исследования,

$\nu_{п}$ – обороты двигателя, об/мин, $A_{yэ}$ – максимальная амплитуда отклонения по оси Y экспериментального объекта исследования, м, A_{yc} – максимальная амплитуда отклонения по оси Y сравнительного объекта исследования, м, $A_{zэ}$ – максимальная амплитуда отклонения по оси Z экспериментального объекта исследования, м, A_{zc} – максимальная амплитуда отклонения по оси Z сравнительного объекта исследования, м,

Таким образом получаем искомые параметры для сравнительного объекта в виде

$$ax_c = \frac{(axH \cdot 256 + axL)}{32768} \cdot 16gK_{xac}. \quad (2.24)$$

$$ay_c = \frac{(ayH \cdot 256 + ayL)}{32768} \cdot 16gK_{yac}. \quad (2.25)$$

$$az_c = \frac{(azH \cdot 256 + azL)}{32768} \cdot 16gK_{zac}. \quad (2.26)$$

Угловая скорость

Перевод в математический вид для формул (2.5-2.7).

Чтобы представить формулу в стройной и читабельной математической форме, уберем операции сдвига (<<) и операции побитового И (AND), побитового ИЛИ (OR), побитового исключающего ИЛИ (XOR), побитового отрицания (NOT), заменив их эквивалентными действиями. Получается вид

$$wx = \frac{wxH \cdot 256 + wxL}{32768} \cdot 2000 \text{ (}^\circ/\text{s)}. \quad (2.217)$$

где wx — угловая скорость вокруг оси x ($^\circ/\text{s}$); wxH — старший байт измеренного значения от гироскопа (MSB, most significant byte); wxL — младший байт измеренного значения от гироскопа (LSB, least significant byte); $256=2^8$ — коэффициент, соответствующий сдвигу влево на 8 бит ($\ll 8$); $32768=2^{15}$ — максимальное значение 16-битного регистра для нормализации результата (с учетом двоичной разрядности); $2000 \text{ (}^\circ/\text{s)}$ — установленный полный диапазон измерений гироскопа.

Полученная формула показывает, как обработать 16-разрядное значение, полученное из двух отдельных байтов (wxH и wxL), чтобы получить угловую скорость в диапазоне $[-2000; +2000] \text{ (}^\circ/\text{s)}$.

Сдвиг на 8 бит ($wxH \cdot 256$) позволяет "поднять" старший байт в старшие разряды 16-битного числа, после чего младший байт добавляется арифметически. Полученное значение делится на 2^{15} , чтобы нормализовать его в диапазон от -1 до 1 , а затем умножается на коэффициент 2000 , задающий предельный диапазон измерений гироскопа.

Итоговое выражение можно также представить более формально:

$$wy = \frac{wyH \cdot 256 + wyL}{32768} \cdot 2000 \text{ (}^\circ/\text{s)}. \quad (2.28)$$

$$wz = \frac{wzH \cdot 256 + wzL}{32768} \cdot 2000 \text{ (}^\circ/\text{s)}. \quad (2.29)$$

Угол отклонения

Разберем приведенные формулы и перепишем их в строгом математическом виде для дальнейшего использования. Формулы описывают вычисление углов наклона (Roll, Pitch, Yaw) на основании данных акселерометра.

Формулы в математической записи (2.8-2.10) принимают вид

1. Roll (угол вокруг оси X):

Исходная запись:

$$\text{Roll (X axis)} = \frac{(\text{RollH} \ll 8) | \text{RollL}}{32768} \cdot 180 \text{ (}^\circ\text{)}. \quad (2.30)$$

Приведем это выражение в математический вид, заменяя побитовый сдвиг (\ll) и побитовое ИЛИ ($|$) соответствующими действиями:

$$Roll = \frac{RollH \cdot 256 + RollL}{32768} \cdot 180 (^\circ). \quad (2.31)$$

где $Roll$ — угол крена (наклона) вокруг оси X в градусах; $RollH$ — старший байт значения акселерометра (MSB); $RollL$ — младший байт значения акселерометра (LSB); $256=2^8$ — коэффициент сдвига влево ($\ll 8$); $32768=2^{15}$ — нормализационный коэффициент для преобразования данных в диапазон от -1 до 1; $180 (^\circ)$ — максимальный угол в градусах.

2. Pitch (угол вокруг оси Y):

Исходная запись:

$$Pitch (Y \text{ axis}) = \frac{(PitchH \ll 8) | PitchL}{32768} \cdot 180 (^\circ). \quad (2.32)$$

Запишем в математической форме:

$$Pitch = \frac{PitchH \cdot 256 + PitchL}{32768} \cdot 180 (^\circ). \quad (2.33)$$

Где $Pitch$ — угол тангажа (наклона) вокруг оси Y в градусах; $PitchH$ — старший байт значения акселерометра; $PitchL$ — младший байт значения акселерометра; $256=2^8$ — коэффициент сдвига влево ($\ll 8$); $32768=2^{15}$ — нормализационный коэффициент для преобразования данных в диапазон от -1 до 1; $180 (^\circ)$ — максимальный угол в градусах.

3. Yaw (угол вокруг оси Z):

Исходная запись:

$$Yaw (Z \text{ axis}) = \frac{(YawH \ll 8) | YawL}{32768} \cdot 180 (^\circ). \quad (2.34)$$

Приведем к математическому виду:

$$Yaw = \frac{YawH \cdot 256 + YawL}{32768} \cdot 180 (^\circ). \quad (2.35)$$

где Yaw — угол рыскания (поворота вокруг оси Z) в градусах; $YawH$ — старший байт значения акселерометра; $YawL$ — младший байт значения акселерометра; $256=2^8$ — коэффициент сдвига влево ($\ll 8$); $32768=2^{15}$ — нормализационный коэффициент для преобразования данных в диапазон от -1 до 1; $180 (^\circ)$ — максимальный угол в градусах.

В представленном расчёте углы наклона (Roll, Pitch, Yaw) вычисляются на основании данных акселерометра, представленных в 16-битном формате (по 2 байта на каждую измеряемую ось). Старший и младший байты объединяются с использованием операции побитового сдвига ($\ll 8$) и побитового ИЛИ. Это преобразование позволяет восстановить 16-битное представление измеренного значения.

Полученное значение нормализуется делением на 32768, что обеспечивает преобразование данных в диапазон от -1 до 1 , где $32768=2^{15}$ — максимальное положительное значение 16-битного регистра с использованием дополнительного кода. Далее нормализованное значение масштабируется на полный диапазон измерений (180°), чтобы получить углы в градусах.

Таким образом, приведенные формулы позволяют с высокой точностью вычислить пространственные углы наклона на основе данных акселерометра, обеспечивая эффективное применение в задачах ориентации и стабилизации устройства для определения данные объекта исследований.

Магнитное поле

Для описания процесса вычисления значений магнитных составляющих по данным акселерометра, приведем указанные формулы в строгий математический вид, используя общепринятое обозначение. В записях используются младшие и старшие байты данных (LSB и MSB), измеряемых и фиксируемых датчиком.

Проведём преобразования и получим формульные данные для формул (2.11-2.13)

Magnetic (x axis): компонент H_x

Старший байт H_xH сдвигается влево на 8 бит (что эквивалентно умножению на $2^8=256$), а младший байт H_xL добавляется к результату.

В итоге получаем

$$H_x = H_xH \cdot 256 + H_xL. \quad (2.36)$$

Аналогично получаем формулы для следующих компонентов

Magnetic (y axis): компонент H_y

Таким же образом операция выполняется для второго компонента:

$$H_y = H_yH \cdot 256 + H_yL. \quad (2.37)$$

Magnetic (z axis): компонент Hz

Операция для третьего компонента:

$$Hz = HzH \cdot 256 + HzL. \quad (2.38)$$

где $HxH, HxL, HyH, HyL, HzH, HzL$ — старший (H) и младший (L) байты измерений магнитного поля, полученные с акселерометра/магнитометра; $256=2^8$ — коэффициент сдвига, преобразующий старший байт в его полное значение.

В общем случае итоговые значения Hx, Hy, Hz представляют компоненты магнитного поля в соответствующих направлениях x, y, z , измеренные в младших единицах датчика (обычно в некалиброванных единицах, которые затем можно нормировать или перевести в физические единицы, такие как Гауссы или Теслы). Представленные формулы описывают процессы получения данных о состоянии магнитного поля в пространстве через младшие и старшие байты, предоставляемые акселерометром.

Кватернион

Для представления данных формул в строгом математическом виде применим следующий подход, при этом учтём, что каждая формула представляет собой преобразование данных, полученных от акселерометра в формате старший байт (H) и младший байт (L), в стандартные значения при нормировке на делитель 32768. Числовые регистры объединяются с использованием битового сдвига влево на 8 бит (что эквивалентно умножению на $2^8=256$) для получения полного 16-битного значения.

Тогда перевод формул (2.14-2.17) в математическом виде приобретает следующую форму

1. Для $Q0$:

Сначала объединяем старший и младший байт:

$$Q0 = \frac{Q0H \cdot 256 + Q0L}{32768}. \quad (2.39)$$

2. Для $Q1$:

Аналогично для $Q1$:

$$Q1 = \frac{Q1H \cdot 256 + Q1L}{32768}. \quad (2.40)$$

3. Для Q2:

Преобразование для Q2:

$$Q2 = \frac{Q2H \cdot 256 + Q2L}{32768}. \quad (2.41)$$

4. Для Q3:

Аналогично для Q3:

$$Q3 = \frac{Q3H \cdot 256 + Q3L}{32768}. \quad (2.42)$$

Общий вид формулы для Qk приобретает вид

Если сделать обобщение для всех компонентов Qk, где k=0,1,2,3, уравнение принимает вид:

$$Qk = \frac{QkH \cdot 256 + QkL}{32768}. \quad (2.43)$$

где $k \in \{0,1,2,3\}$

Введённые значения Q0, Q1, Q2, Q3 представляют соответствующие компоненты, например, при работе с кватернионами, они могут отражать ориентацию акселерометра в трёхмерном пространстве.

Предложенные формулы могут быть применены для преобразования показаний датчиков WT9011DCL-BTL5.0 AHRS IMU, выраженных в двухбайтовом формате (старший и младший байт), в нормализованное значение в диапазоне $[-1;1]$, где деление на 32768 выполняет нормализацию.

В общем случае ЦИКБД, выполненный на базе датчиков WT9011DCL-BTL5.0 AHRS IMU обладает возможностью считывания следующих показателей- ускорение, температура, угловая скорость, угол отклонения, магнитное поле, кватернион. Что даёт возможность его широкого использования для безразборной диагностики в виде измерительного средства для различных способов изучения технического состояния тракторов, автомобилей и сельскохозяйственной техники в рамках нового инклинометрического метода исследования.

Таким образом, формулы приведены в математический вид и могут быть использованы для обоснования преобразования и нормализации данных

инклинометра- акселерометра при дальнейшем программировании, направленном на обеспечение работоспособности цифрового инклинометрического комплекса безразборной диагностики (ЦИКБД) для нужд сельского хозяйства и промышленности.

2.3 Математическая модель и априорное ранжирование факторов эффективности ЦИКБД

В производственной деятельности сельскохозяйственных организаций оценка эффективности подвижного состава осуществляется через комплексный показатель - коэффициент технической готовности (КТГ) α_T . На его величину оказывают влияние такие факторы как частота возникновения отказов, длительность вынужденных простоев, обусловленных проведением регламентных работ и восстановительных мероприятий. При этом немаловажное значение имеют логистические задержки, вызванные отсутствием требуемых запасных частей или расходных материалов, предназначенных для замены неисправных.

Для определения степени влияния выделенных факторов на производительность ЦИКБД, на основании методики Е.С. Кузнецова было проведено экспертное исследование, которое заключалось в создании и проведении специализированного опроса группы экспертов, в качестве которых выступали специалисты с производства, в частности ООО «Дальтимбермаш» и ООО «FAW AUTO TRADE» с подтверждённой квалификацией на уровне профильного образования ВУЗа, а также проведение многоступенчатого ранжирования значимости каждого параметра. Полученные результаты представлены в таблице 2.9 [139].

Таблица 2.9- Результаты опроса экспертов

	Ранги, присвоенные экспертами
--	-------------------------------

Факторы	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Эксперт 4	Эксперт 5	Эксперт 6	Эксперт 7	Эксперт 8	Эксперт 9	Эксперт 10
$C_{ед.оп.}$	3	4	1	3	3	4	4	2	1	3
$N_{ед./см.}$	6	5	6	5	6	7	6	5	7	6
D_d	5	6	5	6	5	6	5	6	4	5
$N_{ед./ч.}$	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
$T_{подг.оп}$	7	7	7	7	7	5	7	7	6	7
$T_{пров}$	1	2	2	2	2	1	1	1	2	1
$n_{п.п.}$	4	3	4	4	4	3	3	4	5	4
$C_{п.к.}$	2	1	3	1	1	2	2	3	3	2
Сумма	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36

В дальнейшем, на основе материалов анкетирования проведено априорное ранжирование рассматриваемых факторов, таблица 2.10.

Таблица 2.10- Априорное ранжирование рассматриваемых факторов

Факторы	Сумма рангов	Средний ранг	Сумма квадратов разностей рангов	Приоритет	Вес фактора
$C_{ед.оп.}$	28	-17	289	3	0,17
$N_{ед./см.}$	59	14	196	6	0,08
D_d	53	8	64	5	0,11
$N_{ед./ч.}$	80	35	1225	8	0,03
$T_{подг.оп}$	67	22	484	7	0,06
$T_{пров}$	15	-30	900	1	0,22
$n_{п.п.}$	38	-7	49	4	0,14
$C_{п.к.}$	20	-25	625	2	0,19
Сумма	360		3832	36,00	1,00

Таким образом определён комплекс факторов, оказывающих существенное влияние на производительность ЦИКБД, из которых к числу наиболее значимых можно отнести следующие:

$T_{\text{пров}}$ – время единичной операции диагностики, ч.;

$C_{\text{ед.оп.}}$ – стоимость единичной операции диагностики, руб.;

$n_{\text{п.п.}}$ – количество проверяемых параметров;

$C_{\text{п.к.}}$ – общая стоимость проверочно-диагностического комплекса, руб.;

$N_{\text{ед./см.}}$ – количество проверенных единиц в смену, ед;

$N_{\text{ед./ч.}}$ – количество проверенных единиц в час, ед;

$T_{\text{подг.оп.}}$ – время подготовки объекта к проведению диагностической операции, ч;

D_d – способность к дистанционной диагностике.

Проверка соответствия мнения экспертов осуществлялась с учётом коэффициента конкордации Кендела. Значение 0,89, полученное в ходе расчёта показало превышение порогового значения 0,5, что говорит о значительной согласованности мнения экспертов по вопросам анкетирования. Степень неслучайности описываемой согласованности оценивалась по критерию Пирсона.

Полученное значение оказалось равным 19,3, оно выше ожидаемого для данной вероятности, что говорит о неслучайности совпадения мнений экспертов.

Учитывая, что применение ЦИКБД позволяет заблаговременно прогнозировать выход детали из строя, существенным фактором, значимо влияющим на коэффициент технической готовности α_T является W_k – производительность ЦИКБД, ед/ч., так как стоимость единичной проверочной операции, время проверки единичной детали и количество проверенных единиц в час и смену, используемые в расчёте этого параметра, позволят обосновать и скорректировать сроки проведения технологических операций системы технического обслуживания и ремонта на предприятии.

Исходя из этого, целевая функция W_k представлена математической моделью в следующем виде:

$$W_k = f(T_{\text{пров}}, T_{\text{подг.оп.}}, C_{\text{ед.оп.}}, n_{\text{п.п.}}, C_{\text{п.к.}}, N_{\text{ед./ч.}}). \quad (2.44)$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} \sum C_{\text{ед.оп.}} + C_{\text{п.к.}} &\rightarrow \min \\ \sum T_{\text{пров}} + T_{\text{подг.оп}} &\rightarrow \min \\ \sum n_{\text{п.п.}} &\rightarrow \max \\ \sum N_{\text{ед./ч.}} &\rightarrow \max \end{aligned}$$

где $T_{\text{пров}}$ – время единичной операции диагностики, ч.;

$C_{\text{ед.оп.}}$ – стоимость единичной операции диагностики, руб.;

$n_{\text{п.п.}}$ – количество проверяемых параметров;

$C_{\text{п.к.}}$ – общая стоимость проверочного комплекса, руб.;

$N_{\text{ед./см.}}$ – количество проверенных деталей в смену, ед;

$N_{\text{ед./ч.}}$ – количество проверенных деталей в час, ед;

$T_{\text{подг.оп}}$ – время подготовки объекта к проведению диагностической операции, ч

При этом $T_{\text{подг.оп}} = T_{\text{снятия}} + T_{\text{транспортировки}} + T_{\text{установки}}$.

Где $T_{\text{снятия}}$ – время снятия проверяемой детали с машины, ч, $T_{\text{транспортировки}}$ – время транспортировки проверяемой детали к месту проведения диагностики, ч;

$T_{\text{установки}}$ – время установки проверяемой детали в машину, ч

$T_{\text{см}}$ – время смены, ч.

При чём $W_{\text{к}}$ предлагается определять по формульной зависимости

$$W_{\text{кч}} = C_{\text{ед.оп.}} \cdot N_{\text{ед./ч.}} \quad (2.45)$$

где $W_{\text{кч}}$ – часовая производительность ЦИКБД

и
$$W_{\text{кс}} = (C_{\text{ед.оп.}} \cdot N_{\text{ед./ч.}}) \cdot T_{\text{см}} \cdot T_{\text{об.}} \quad (2.46)$$

где $W_{\text{кс}}$ – сменная производительность ЦИКБД; $T_{\text{об}}$ – коэффициент использования времени рабочей смены (учитывает время на продолжительность обслуживания

комплекса, время на отдых и личное время оператора-диагноста, время на подготовительную и заключительную работу, настройку и калибровку комплекса). Таким образом получен комплексный набор показателей, ответственных за проведение диагностических мероприятий- стоимость единичной проверочной операции, время проверки единичной детали и количество проверенных единиц в час.

2.4 Разработка программных средств синхронизации и контроля приборных датчиков ЦИКБД

Выбранные средства диагностирования в виде инклинометра-акселерометра WT9011DCL-BTL5.0 AHRS IMU обладают встроенным оригинальным программным обеспечением, однако их совмещение в одном проверочном комплексе и выполнение всех программных операций с получаемыми данными требует применения необходимого авторского программного обеспечения. Структурная схема разрабатываемого приборно-диагностического комплекса представлена на рисунке 2.9.

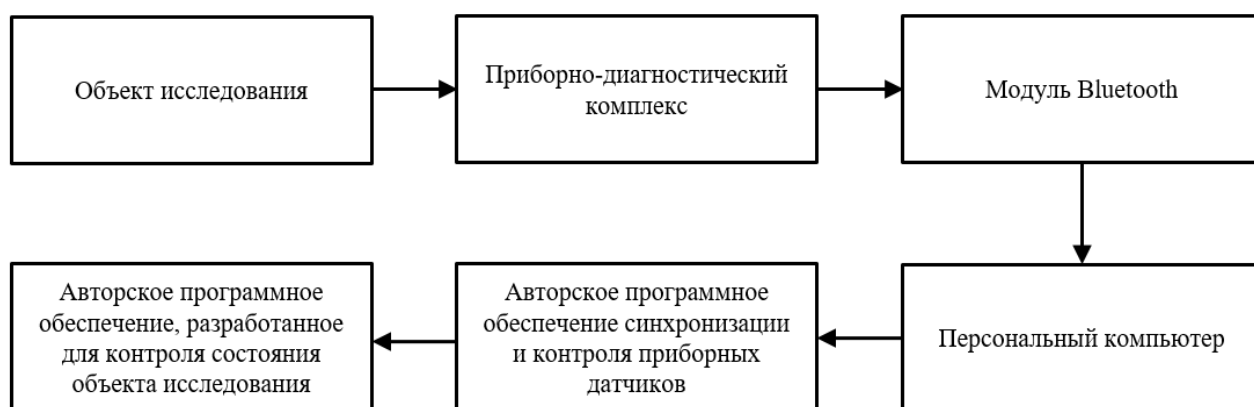


Рисунок 2.9- Структурная схема разрабатываемого приборно-диагностического комплекса

Таким образом, средства прикладного программирования применены на этапах общего совмещения данных для синхронизации и контроля приборных датчиков, и разработки программного обеспечения непосредственно для функционирования комплекса в операции контроля состояния объекта исследования при его применении [140, 141].

2.5 Разработка установочных модулей для приборных датчиков разрабатываемого ЦИКБД

Применение диагностических приборов и приборных комплексов, изначально не предназначенных для использования на объектах агропромышленного комплекса, является частым явлением в мировой науке и практике, так как в процессе исследований учёные достаточно часто находят новое применение известным приборам и технологиям.

В процессе проведения экспериментальных исследований при применении разрабатываемого приборно-диагностического комплекса, были обнаружены сложности при установке датчиков приборного комплекса на объекты исследования, в связи с отсутствием каких-либо элементов крепления. Исходя из этих факторов было принято решение о доработке внешней конструкции датчиков для обеспечения большей приспособленности к проведению диагностических операций. Так же при исследовании эффективности применения диагностического комплекса была определена необходимость в разработке кейса, предназначенного для хранения и транспортировки диагностических датчиков.

Существует множество способов изготовления новых корпусов или элементов крепления, к ним можно отнести следующие:

1. Отливка под давлением;
2. Аддитивные технологии;
3. Формование (ротационное и выдувное);
4. Вакуумное литьё;
5. Фрезеровка.

Из всех способов производства, отдельно можно отметить способ аддитивного производства или 3D печать. Данный способ отличается высокой скоростью получения готового изделия и уменьшением производственной цепочки, так как от идеи до готового прототипа может пройти меньше двух часов,

так же к преимуществам данного способа производства можно отнести следующие факторы:

- Стоимость производства;
- Возможность создания изделий уникальной формы;
- Скорость изготовления единичных образцов;
- Экономия сырья;
- Минимизация отходов.

В качестве программного обеспечения для проектирования и создания электронной 3D модели корпуса, был определён многофункциональный программный комплекс Blender 2.93, при проектировании использовались примитивы (куб, цилиндр, плоскость), инструменты 3D моделирования (вращение, перемещение, масштабирование, выдавливание, скругление/фаска) и модификаторы (подразделение поверхностей, булева геометрия). В начале разработки были определены форма и внутренний объём корпуса для размещения внутри него датчика приборного комплекса, рисунок 2.10.

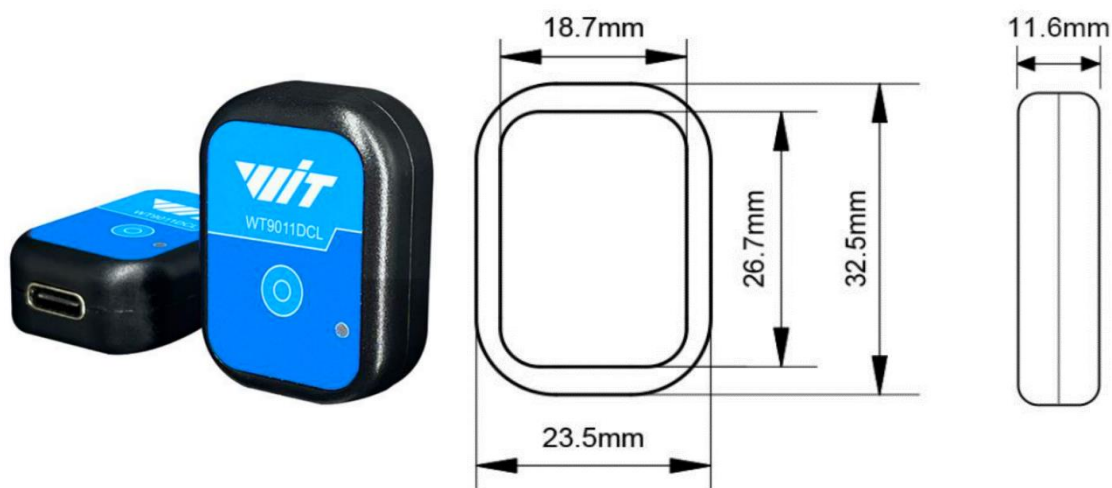


Рисунок 2.10 – Внешний вид и габаритные размеры диагностического датчика ЦИКБД

Так же в процессе моделирования были учтены следующие ключевые характеристики: доступность порта USB type-c предназначенного для зарядки внутреннего аккумулятора акселерометра; отсутствие перекрытия светодиода, который сигнализирует о включении датчика, уровня заряда и состояния

подключения; отсутствие ложного срабатывания кнопки включения/выключения датчика; так же на 3D модели предусмотрено буквенное обозначение ориентационных осей устройства.

Для использования ЦИКБД в условиях агрессивной окружающей среды (запыленность, большая внешняя нагрузка на датчик, высокая влажность, низкая температура) было принято решение провести общую модернизацию элементов крепления и создание кейса для транспортировки и хранения приборно-диагностического комплекса, что позволяет выполнить требования стандарта защиты изделия по IP67.

Основной материал корпусной части датчиков приборного комплекса ULTRAN M20 – PA CF (полиамид ПА6, наполненный короткими углеродными волокнами) инженерный высокопрочный конструкционный материал, производителя Atesco. Гибкий Пластик eTPU-95A от производителя ESUN, из-за его более лучших прочностных характеристик и лучшей химической устойчивости.

Модернизированный корпус датчиков имеет увеличенные размеры, для обеспечения болтового соединения двух половин, рисунок 2.17.



Рисунок 2.17 – 3D модель модернизированного корпуса

Детали чёрного цвета - ULTRAN M20 – PA CF. Детали сиреневого цвета - eTPU-95A, рисунок 2.18, 2.19.



Рисунок 2.18 – 3D модель общего вида модернизированного корпуса в сборе

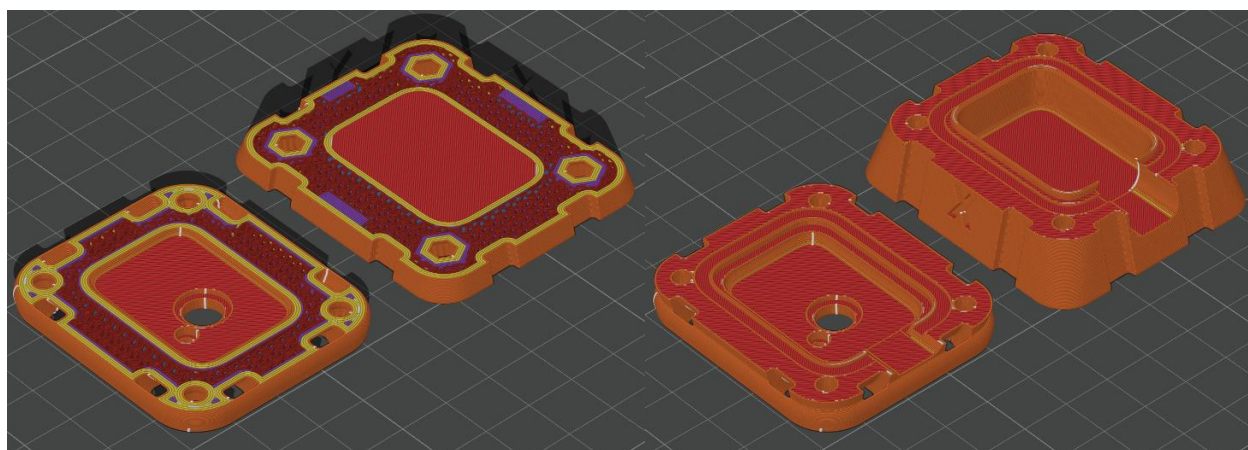


Рисунок 2.19 – 3D модель модернизированного корпуса датчика в слайсере
Bambu Studio

Настройки выбраны исходя из рекомендаций производителя пластика и производителя 3D принтера. Так же при печати из полимеров, основанных на полиамидах (PA), необходимо учитывать низкую адгезию таких материалов, в связи с чем было решено применить специальный адгезив - клей для FDM 3D печати The3D производителя ООО «ОМЕГА».

Теоретическая общая масса одного корпуса датчика составила 42 грамма (15 гр. заглушка, кнопка, прокладка и противоскользящая пятка из eTPU-95A, 27 гр. две части корпуса из ULTRAN M20 – PA CF). Для сборки корпуса датчика использовались 4 болта M3x16 и 4 гайки M3.

Кейс для хранения и транспортирования приборного комплекса имеет три отсека: первый с элементами, изготовленными из гибкого TPU для предотвращения

ударов и надёжного хранения датчиков и USB- накопителя, второй отсек предназначен для хранения проводов для зарядки датчиков, Третий для пластиковых хомутов. Так же на корпусе предусмотрена ручка для перемещения приборного комплекса, рисунок 2.20.



Рисунок 2.20 – 3D модель общего вида кейса для хранения и транспортирования приборно-диагностического комплекса

Кейс для хранения состоит из пяти основных частей изготовленных из PETG производства компании ПК НИТ, в частности: основная часть кейса; крышка; ручка для перемещения; клипсы-замки в количестве двух единиц и 5 частей изготовленных из eTPU-95A производителя ESUN, а в частности: уплотнительная резинка между основной частью и крышкой корпуса; 2 уплотнительных элемента на крышке кейса; обрезиненная внутренняя часть ручки для перемещения; основная часть для предотвращения ударам датчиков и USB носителя с программным обеспечением. Так же на основную часть кейса были добавлены обозначения пластиком PETG белого цвета, при помощи функционала AMS системы 3D принтера, рисунок 2.21, 2.22.

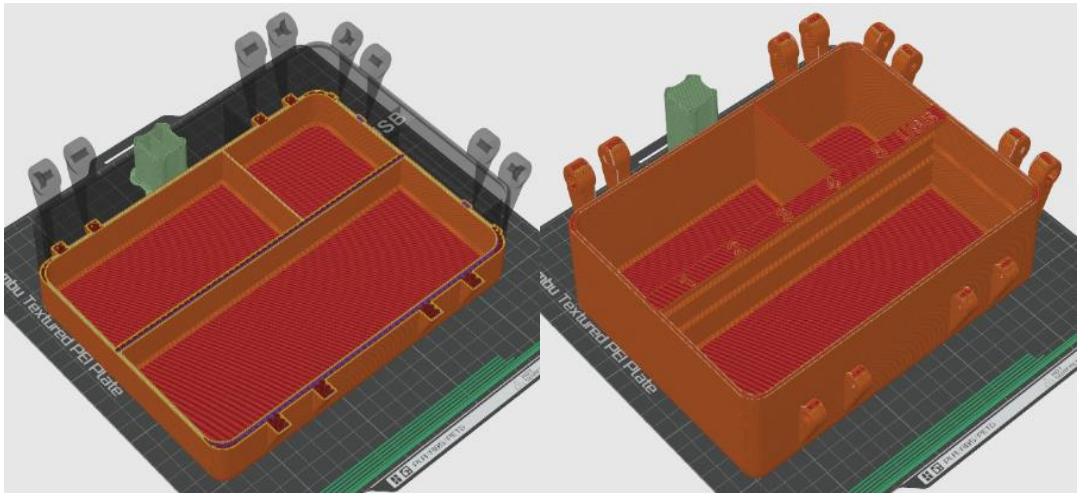


Рисунок 2.21 – 3D модель основной части модернизированного кейса в слайсере Bambu Studio

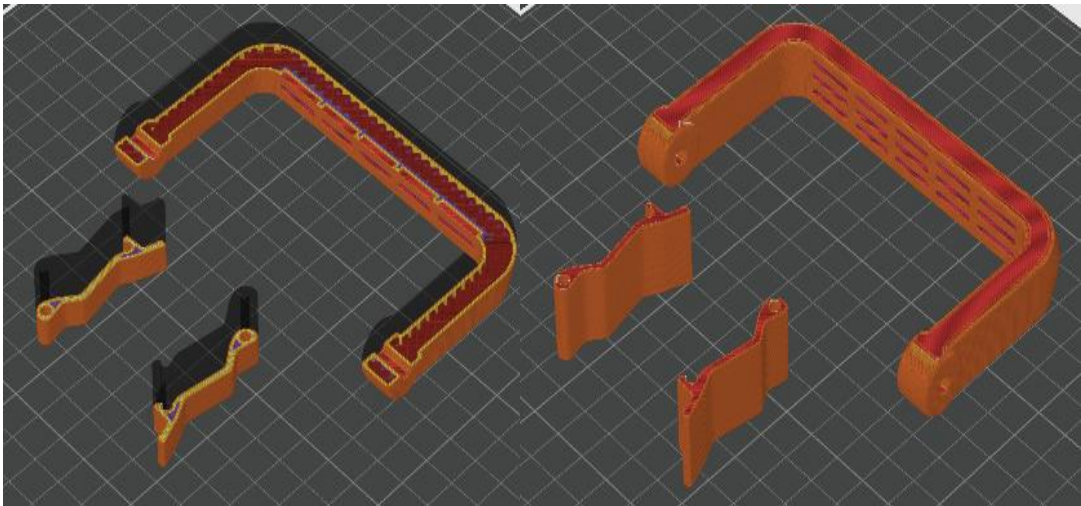


Рисунок 2.22 – 3D модель крышки корпуса модернизированного кейса в слайсере Bambu Studio

В процессе проектирования была учтена работа датчиков приборно-диагностического комплекса в условиях сельского хозяйства, низкотемпературных режимов использования, нахождения и проведения работ в условиях запылённости и агрессивной внешней среды [145].

2.6 Расчёт основных показателей проведения технического обслуживания при внедрении цифрового ЦИКБД

В отличие от внедрённых и действующих в организациях АПК систем технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), а именно регламентированной, планово-предупредительной по состоянию систем технического обслуживания, наиболее современной и перспективной к внедрению на предприятии, соответствующей все показателям ресурсосбережения и надёжности, является планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта по периодичности технологических воздействий [146].

Предлагаемый к исследованию и внедрению в производственный процесс технического обслуживания и ремонта цифровой инклинометрический комплекс безразборной диагностики (ЦИКБД) использует передовые технологические решения, способные значительно сократить временные затраты на проведение безразборной диагностики, техническое обслуживание и ремонт, а также формирование прогнозных решений по эксплуатации техники.

Определим основные показатели простоя и затрат труда на проведение технологических операций технического обслуживания при регламентированной системе обслуживания и проведём их сравнение с показателями планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта по периодичности технологических воздействий. При расчёте примем как наиболее ответственные следующие показатели, отражающие эффективность системы технического обслуживания и ремонта на производстве: коэффициент технического использования, общая продолжительность простоя машины за цикл эксплуатации, среднее удельное время простоя трактора за цикл эксплуатации, среднее удельное время простоя при проведении технологических воздействий, средняя удельная трудоёмкость технологических операций.

Коэффициент технического использования $K_{\text{трс}}$ серийного трактора можно определить по следующей зависимости

$$K_{\text{трс}} = \frac{T_{\text{нс}}}{T_{\text{нс}} + T_{\text{цп}}}. \quad (2.47)$$

При $T_{\text{цп}} = T_{\text{пто}} + T_{\text{пр}}$

Где $T_{\text{цп}}$ – общая продолжительность простоя машины за цикл эксплуатации (до проведения капитального ремонта), ч; $T_{\text{нс}}$ – наработка за цикл до капитального ремонта серийного трактора, ч; $T_{\text{пто}}$ – простой трактора при проведении технических обслуживаний в течении цикла эксплуатации до осуществления капитального ремонта, ч; $T_{\text{пр}}$ – простой трактора при проведении текущих ремонтов в течении цикла эксплуатации до осуществления капитального ремонта, ч, $T_{\text{нс}}$ примем равный 5000 ч.

Общая продолжительность простоя машины за цикл, которая равна продолжительности проведения технологических воздействий по отдельной машине $T_{\text{цп}}$ будет равна

$$T_{\text{цп}} = T_{\text{пто}} + T_{\text{пр}} = n_{\text{ЕО}} \cdot t_{\text{ЕО}} + n_{\text{ТО-1}} \cdot t_{\text{ТО-1}} + n_{\text{ТО-2}} \cdot t_{\text{ТО-2}} + n_{\text{ТО-3}} \cdot t_{\text{ТО-3}} + n_{\text{СО}} \cdot t_{\text{СО}} + n_{\text{КО}} \cdot t_{\text{КО}} + n_{\text{ТР}} \cdot t_{\text{ТР}} + t_{\text{КР}}. \quad (2.48)$$

Или

$$T_{\text{цп}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{ЕО}}} t_{\text{ЕО}} + \sum_{i=1}^{n_{\text{ТО-1}}} t_{\text{ТО-1}} + \sum_{i=1}^{n_{\text{ТО-2}}} t_{\text{ТО-2}} + \sum_{i=1}^{n_{\text{ТО-3}}} t_{\text{ТО-3}} + \sum_{i=1}^{n_{\text{СО}}} t_{\text{СО}} + \sum_{i=1}^{n_{\text{КО}}} t_{\text{КО}} + \sum_{i=1}^{n_{\text{ТР}}} t_{\text{ТР}} + t_{\text{КР}}. \quad (2.49)$$

Где n – количество обслуживаний или ремонтов техники за цикл; t – часовая продолжительность технологических воздействий, ч.

Среднее удельное время простоя можно рассчитать по формуле

$$t_{\text{упр}} = \frac{T_{\text{пто}} + T_{\text{пр}}}{T_{\text{нс}}} = \frac{T_{\text{цп}}}{T_{\text{нс}}}, \quad (2.50)$$

А среднюю удельную трудоёмкость $Z_{\text{сут}}$ ($\frac{\text{чел.}-\text{ч}}{\text{ч}}$)

$$Z_{\text{сут}} = \frac{C_{\text{то}} + C_{\text{пр}}}{T_{\text{нс}}}, \quad (2.51)$$

где $C_{\text{то}}$ – затраты труда на проведение технических обслуживаний в течении цикла эксплуатации до осуществления капитального ремонта, чел. –ч; $C_{\text{пр}}$ – затраты труда на проведение текущих ремонтов в течении цикла эксплуатации до осуществления капитального ремонта, чел. –ч.

Таким образом общие затраты труда на проведение технических обслуживаний и ремонтов в течении цикла эксплуатации до осуществления капитального ремонта $C_{озт}$ предлагается рассчитать по формульной зависимости

$$C_{озт} = C_{то} + C_{пр} = n_{EO} \cdot Z_{EO} + n_{ТО-1} \cdot Z_{ТО-1} + n_{ТО-2} \cdot Z_{ТО-2} + n_{ТО-3} \cdot Z_{ТО-3} + n_{CO} \cdot Z_{CO} + n_{КО} \cdot Z_{КО} + n_{ТР} \cdot Z_{ТР} + Z_{КР}. \quad (2.52)$$

Где Z – трудоёмкость проведения единичного обслуживания или ремонта, чел.-ч.

Или

$$C_{озт} = \sum_{i=1}^{n_{EO}} Z_{EO} + \sum_{i=1}^{n_{ТО-1}} Z_{ТО-1} + \sum_{i=1}^{n_{ТО-2}} Z_{ТО-2} + \sum_{i=1}^{n_{ТО-3}} Z_{ТО-3} + \sum_{i=1}^{n_{CO-2}} Z_{CO} + \sum_{i=1}^{n_{КО}} Z_{КО} + \sum_{i=1}^{n_{ТР}} Z_{ТР} + Z_{КР}. \quad (2.53)$$

Рекомендуемые нормы продолжительности технологических воздействий и трудоёмкости при проведении обслуживающих работ для тракторов приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.11- Рекомендуемые нормы продолжительности технологических воздействий и трудоёмкости при проведении обслуживающих работ для тракторов

Технический осмотр	Наименование показателя	Продолжительность, ч.; трудоёмкость, чел.-ч. на машину		
		К-700, К-701, К-744, К-525	ДТ-75, АГРОМАШ, ВТ-180	МТЗ - 80/82, МТЗ- 1221/1222
Ежесменный	Продолжительность	0,7	0,4	0,3
	Трудоёмкость	0,7	0,5	0,5
№1	Продолжительность	2,6	1,1	1,0
	Трудоёмкость	2,6	2,3	2,0
№2	Продолжительность	9,35	4,0	3,0
	Трудоёмкость	9,35	8,5	7,0
№3	Продолжительность	22,0	8,0	7,0
	Трудоёмкость	22,0	20,0	17,0
Сезонный осмотр	Продолжительность	27,5	25,0	25,0
	Трудоёмкость	3,0	3,0	3,0

Учитывая, что при введении перспективной планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта по периодичности технологических воздействий при каждом ТО, СО и ТР проводится диагностика, в рамках которой осуществляется и регулировка рабочих параметров проверяемых узлов,

полученные формулы для серийного трактора при введении планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта, примут следующий вид, с учётом рекомендуемых 15-20 процентов от общей трудоёмкости операции ТО, СО и ТР, формулы (2.48) и (2.49) примут вид

$$T_{цпсп} = T_{пто} + T_{пр} = n_{EO} \cdot t_{EO} + n_{ТО-1} \cdot (t_{ТО-1} + D_{ТО-1}) + n_{ТО-2} \cdot (t_{ТО-2} + D_{ТО-2}) + n_{ТО-3} \cdot (t_{ТО-3} + D_{ТО-3}) + n_{СО} \cdot (t_{СО} + D_{СО}) + n_{КО} \cdot t_{КО} + n_{ТР} \cdot (t_{ТР} + D_{ТР}) + (t_{КР} + D_{КР}). \quad (2.54)$$

$$\text{Или} \quad T_{цпсп} = \sum_{i=1}^{n_{EO}} t_{EO} + \sum_{i=1}^{n_{ТО-1}} (t_{ТО-1} + D_{ТО-1}) + \sum_{i=1}^{n_{ТО-2}} (t_{ТО-2} + D_{ТО-2}) + \sum_{i=1}^{n_{ТО-3}} (t_{ТО-3} + D_{ТО-3}) + \sum_{i=1}^{n_{СО}} (t_{СО} + D_{СО}) + \sum_{i=1}^{n_{КО}} t_{КО} + \sum_{i=1}^{n_{ТР}} (t_{ТР} + D_{ТР}) + (t_{КР} + D_{КР}). \quad (2.55)$$

А формулы (2.46) и (2.47)

$$C_{озтп} = n_{EO} \cdot Z_{EO} + n_{ТО-1} \cdot (Z_{ТО-1} + Z_{ДТО-1}) + n_{ТО-2} \cdot (Z_{ТО-2} + Z_{ДТО-2}) + n_{ТО-3} \cdot (Z_{ТО-3} + Z_{ДТО-3}) + n_{СО} \cdot (Z_{СО} + Z_{ДСО}) + n_{КО} \cdot Z_{КО} + n_{ТР} \cdot (Z_{ТР} + Z_{ДТР}) + (Z_{КР} + Z_{КР}). \quad (2.56)$$

$$\text{Или} \quad C_{озтп} = \sum_{i=1}^{n_{EO}} Z_{EO} + \sum_{i=1}^{n_{ТО-1}} (Z_{ТО-1} + Z_{ДТО-1}) + \sum_{i=1}^{n_{ТО-2}} (Z_{ТО-2} + Z_{ДТО-2}) + \sum_{i=1}^{n_{ТО-3}} (Z_{ТО-3} + Z_{ДТО-3}) + \sum_{i=1}^{n_{СО}} (Z_{СО} + Z_{ДСО}) + \sum_{i=1}^{n_{КО}} Z_{КО} + \sum_{i=1}^{n_{ТР}} (Z_{ТР} + Z_{ДТР}) + Z_{КР} (Z_{КР} + Z_{КР}). \quad (2.57)$$

Таким образом теоретические, откорректированные нормы при введении предупредительной системы технического обслуживания и ремонта по периодичности технологических воздействий будут увеличены до следующих значений, таблица 2.12.

Таблица 2.12- Теоретические нормы продолжительности технологических воздействий и трудоёмкости при проведении обслуживающих работ для тракторов

Технический осмотр	Наименование показателя	Продолжительность, ч.; трудоёмкость, чел.-ч. на машину		
		К-700, К-701, К-744, К-525	ДТ-75, АГРОМАШ, ВТ-180	МТЗ - 80/82,

				МТЗ-1221/1222
Ежемесячный	Продолжительность	0,84	0,48	0,36
	Трудоёмкость	0,84	0,6	0,6
№1	Продолжительность	3,12	1,32	1,2
	Трудоёмкость	3,12	2,76	2,4
№2	Продолжительность	11,22	4,8	3,6
	Трудоёмкость	11,22	10,2	8,4
№3	Продолжительность	26,4	9,6	8,4
	Трудоёмкость	26,4	24	20,4
Сезонный осмотр	Продолжительность	33	30	30
	Трудоёмкость	3,6	3,6	3,6

Однако для нашего случая, учитывая возможности предлагаемого комплекса ЦИКБД по безразборной многофункциональной совмещённой диагностике без отрыва трактора от проведения работ можно предположить, что рассматриваемые параметры, в сравнении с серийным будут снижены на 10-12 процентов за счёт более ранней диагностики и принятия управленческого решения по проведению необходимого перечня работ, вместо всего комплекса предусмотренных технологических мероприятий [147]. С учётом того, что теоретически

$$T_{\text{цпэ}} \leq T_{\text{цп}} \leq T_{\text{цпсп}}, \quad (2.58)$$

а

$$C_{\text{озтэ}} \leq C_{\text{озт}} \leq C_{\text{озтп}}, \quad (2.59)$$

где $T_{\text{цпэ}}$ – общая продолжительность простоя экспериментального трактора за цикл эксплуатации (до проведения капитального ремонта) при введении предупредительной системы технического обслуживания и ремонта с применением ЦИКБД, $C_{\text{озтэ}}$ – общая трудоёмкость при проведении обслуживающих работ экспериментального трактора за цикл эксплуатации (до проведения капитального ремонта) при введении предупредительной системы технического обслуживания и ремонта с применением ЦИКБД.

В связи с чем, формулы (2.49) и (2.53) для расчёта показателей экспериментального трактора за цикл эксплуатации (до проведения капитального ремонта) при введении предупредительной системы технического обслуживания и ремонта с применением ЦИКБД примут вид

$$C_{\text{озтэ}} = \sum_{i=1}^{\text{HEO}} z_{\text{EO}} + 0,9 \sum_{i=1}^{\text{HTO-1}} z_{\text{TO-1}} + 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HTO-2}} z_{\text{TO-2}} + \\ 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HTO-3}} z_{\text{TO-3}} + 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HCO-2}} z_{\text{CO}} + 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HTP}} z_{\text{TP}} + z_{\text{KP}}. \quad (2.60)$$

$$T_{\text{цпэ}} = \sum_{i=1}^{\text{HEO}} t_{\text{EO}} + \\ 0,9 \sum_{i=1}^{\text{HTO-1}} t_{\text{TO-1}} + 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HTO-2}} t_{\text{TO-2}} + 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HTO-3}} t_{\text{TO-3}} + 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HCO}} t_{\text{CO}} + \sum_{i=1}^{\text{HKO}} t_{\text{KO}} + \\ 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HTP}} t_{\text{TP}} + t_{\text{KP}}. \quad (2.61)$$

Полученные формульные зависимости позволили сформировать теоретические данные для расчёта, откорректированных норм продолжительности простоя и трудоёмкости технологических операций при введении предупредительной системы технического обслуживания и ремонта по периодичности технологических воздействий будут снижены до следующих значений, таблица 2.13.

Таблица 2.13- Откорректированные нормы продолжительности технологических воздействий и трудоёмкости при проведении обслуживающих работ для тракторов

Технический осмотр	Наименование показателя	Продолжительность, ч.; трудоёмкость, чел.-ч. на машину		
		К-700, К-701, К-744, К-525	ДТ-75, АГРОМАШ, ВТ-180	МТЗ - 80/82, МТЗ- 1221/1222
Ежесменный	Продолжительность	0,70	0,40	0,30
	Трудоёмкость	0,70	0,50	0,50
№1	Продолжительность	2,34	0,99	0,90
	Трудоёмкость	2,34	2,07	1,80
№2	Продолжительность	8,23	3,52	2,64
	Трудоёмкость	8,23	7,48	6,16
№3	Продолжительность	19,36	7,04	6,16
	Трудоёмкость	19,36	17,60	14,96
Сезонный осмотр	Продолжительность	24,20	22,00	22,00
	Трудоёмкость	2,64	2,64	2,64

Таким образом коэффициент технического использования для трактора, обслуживаемого при использовании предлагаемого ЦИКБД с использованием ф.(2.47) может быть рассчитан по формуле

$$K_{\text{трсэ}} = \frac{T_{\text{нс}}}{T_{\text{нс}} + (\sum_{i=1}^{\text{HЕО}} t_{\text{ЕО}} + 0,9 \sum_{i=1}^{\text{HTO}-1} t_{\text{TO}-1} + 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HTO}-2} t_{\text{TO}-2} + 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HTO}-3} t_{\text{TO}-3} + 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HCO}} t_{\text{CO}} + \sum_{i=1}^{\text{HKO}} t_{\text{KO}} + 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HTP}} t_{\text{TP}} + t_{\text{KP}} t_{\text{KP}})}. \quad (2.62)$$

Анализ полученных формул (2.47) и (2.62) с учётом ф. (2.51) позволяет утверждать, что

$$K_{\text{трс}} < K_{\text{трсэ}}. \quad (2.63)$$

Среднее удельное время простоя для наших условий предлагается рассчитать по формульной зависимости

$$t_{\text{упрэ}} = \frac{\sum_{i=1}^{\text{HЕО}} t_{\text{ЕО}} + 0,9 \sum_{i=1}^{\text{HTO}-1} (t_{\text{TO}-1} + D_{\text{TO}-1}) + 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HTO}-2} (t_{\text{TO}-2} + D_{\text{TO}-2}) + 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HTO}-3} (t_{\text{TO}-3} + D_{\text{TO}-3}) + 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HCO}} (t_{\text{CO}} + D_{\text{CO}}) + 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HKO}} t_{\text{KO}} + 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HTP}} (t_{\text{TP}} + D_{\text{TP}}) + (t_{\text{KP}} + D_{\text{KP}})}{T_{\text{нс}}}. \quad (2.64)$$

Оценка полученных формул (2.50) и (2.62) с учётом ф. (2.61) позволяет утверждать, что среднее удельное время простоя для трактора обслуживаемого при использовании предлагаемого ЦИКБД меньше (ф. 2.64), чем у серийного трактора, используемого при регламентированной системе обслуживания, т.е. подтверждается неравенство $t_{\text{упрэ}} < t_{\text{упр}}$.

Среднюю удельная трудоёмкость для трактора обслуживаемого при использовании предлагаемого ЦИКБД, с учётом ф.(2.51) и ф.(2.60) будет равна выражению

$$Z_{\text{сутэ}} = \frac{\sum_{i=1}^{\text{HЕО}} z_{\text{ЕО}} + 0,9 \sum_{i=1}^{\text{HTO}-1} z_{\text{TO}-1} + 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HTO}-2} z_{\text{TO}-2} + 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HTO}-3} z_{\text{TO}-3} + 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HCO}-2} z_{\text{CO}} + \sum_{i=1}^{\text{HKO}} z_{\text{KO}} + 0,88 \sum_{i=1}^{\text{HTP}} z_{\text{TP}} + z_{\text{KP}}}{T_{\text{нс}}}. \quad (2.65)$$

Таким образом получены математические выражения для основных, отражающих эффективность системы технического обслуживания и ремонта на производстве показателей, убедительно доказывающих, что применение предлагаемого цифрового инклинометрического комплекса безразборной диагностики позволяет снизить показатели: общую продолжительность простоя машины (трактора) за цикл эксплуатации, среднее удельное время простоя трактора за цикл эксплуатации, среднее удельное время простоя при проведении

технологических воздействий, средняя удельная трудоёмкость технологических операций. При этом повысить коэффициент технического использования трактора. Таким образом улучшить показатели эффективности проведения технологических операций технического обслуживания и ремонта машинно-тракторного парка при общем повышении эффективности труда в сельскохозяйственном производстве.

2.7 Расчёт показателей производительности трактора при применении ЦИКБД

Производительность тракторного агрегата (га) за год использования для трактора при регламентированной, планово-предупредительной по состоянию системе технического обслуживания, предлагается рассчитать по формуле

$$\omega_{\text{трсэ}} = N_{\text{др}} \omega \eta_{\text{трс}} \quad (2.66)$$

где $N_{\text{др}}$ — число рабочих дней за цикл использования трактора; $\eta_{\text{трс}} = \eta_c \eta$ — коэффициент эффективного использования времени работы агрегата; ω — сменная производительность агрегата, га; η_c — время рабочей смены без учета остановок тракторного агрегата на обслуживание, ч; η — коэффициент использования времени, учитывающий сменные потери времени на проведение технического обслуживания трактора и агрегата, настройку ч.

Учитывая, что снижение часовой производительности тракторного агрегата вследствие необходимости проведения технического обслуживания происходит по линейной зависимости от времени использования и ресурса между технологическими воздействиями, т.е., чем больше время использования, тем выше затраты времени на обслуживание вплоть до проведения планового ТО или ТР, для ω можно определить зависимость [148].

$$\omega = \omega_{\text{ф}} - \frac{\gamma}{2} \cdot t_{\text{общ}} \quad (2.67)$$

где $\omega_{\text{ф}}$ — зафиксированная в процессе эксплуатации для применяемого вида работ производительность тракторного агрегата, га/ч; $t_{\text{общ}}$ — продолжительность работ на проведение технического обслуживания трактора и агрегата на этой операции

за смену, ч; γ — интенсивность снижения производительности тракторного агрегата, га/ч².

Учитываем, что трактор используется как в составе МТА, так и ТТА, и выполняет различные операции. В связи с чем возможно предположение, что

$$\omega = \sum_{i=1}^{n'} \omega_{\phi} - \frac{\gamma}{2} \cdot t_{\text{общ}}. \quad (2.68)$$

Где n' — количество операций, проведённых трактором в составе МТА или ТТА за цикл эксплуатации.

Таким образом коэффициент использования времени, учитывающий потери на проведение обслуживания МТА (ТТА) для серийного трактора равен,

$$\eta = \frac{\eta_c - t_{\text{общ}}}{\eta_c} = 1 - \frac{t_{\text{общ}}}{\eta_c}. \quad (2.69)$$

Подставляя значение ω_{ϕ} и $\varepsilon_{\text{вс}}$ в (1), получим

$$\omega_{\text{трсэ}} = N_{\text{др}} \left(\sum_{i=1}^{n'} \omega_{\phi} - \frac{\gamma}{2} \cdot t_{\text{общ}} \right) \left(1 - \frac{t_{\text{общ}}}{\eta_c} \right) \eta_c. \quad (2.70)$$

Для наших условий, учитывая, что применение ЦИКБД позволяет проводить диагностические мероприятия без снятия машины для выполнения полевых или транспортных работ, а также показатели расчёта за цикл для технологический воздействий по трактору К-744Р4, при наработке за цикл в 5000 м.ч. в виде ТО-1 (125 м.ч.)-39, ТО-2 (500 м.ч.)-7, ТО-3 (1000 м.ч.)-4, СО-8, ТР-2, и теоретическое снижение трудоёмкости для ТО-1- 10 %, ТО-2, ТО-3, СО, ТР- 12 %, получаем для ТО-1- 8,19 ч., для ТО-2- 8,05 ч., для ТО-3- 12,08, СО-17,6. Таким образом общая теоретическая экономия времени за счёт снижения трудоёмкости операций составит 45,92 ч., что в эквиваленте рабочих дней равно 6,56 дней и может быть учтено введением величины $N_{\text{доп}}$.

В связи с чем, учитывая ранее полученные зависимости – ф.(2.66-2.70) для экспериментального трактора при введении планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта и использовании ЦИКБД получаем следующие зависимости. Для коэффициентов и величины производительности

$$\eta_{\text{трсэ}} = 1 - \frac{t_{\text{общ}} - t_{\text{д}}}{\eta_c}. \quad (2.71)$$

$$\omega_{\text{трсэ}} = \sum_{i=1}^{n'} \omega_{\phi} - \frac{\gamma}{2} \cdot (t_{\text{общ}} - t_{\text{д}}). \quad (2.72)$$

Где t_d – время проведения безразборной диагностики. Тогда формула для вычисления производительности за цикл использования для экспериментального трактора с ЦИКБД, с учетом ф. (2.64-2.66) принимает вид

$$\omega_{\text{трсэ}} = (N_{\text{др}} + N_{\text{доп}}) \cdot \left(\sum_{i=1}^n \omega_{\text{ф}} - \frac{\gamma}{2} \cdot (t_{\text{общ}} - t_d) \right) \cdot \left(1 - \frac{t_{\text{общ}} - t_d}{\eta_c} \right) \eta_c. \quad (2.73)$$

Полученная формульная зависимость позволяет рассчитать показатели эффективности использования предлагаемого диагностического комплекса ЦИКБД в производственных условиях, прогнозировать производительность МТА (ТТА).

2.8 Выводы

В главе проведены теоретические исследования, позволяющие сделать следующие обоснованные выводы:

- Осуществлён выбор диагностического датчика, объединяющего высокоточный гироскоп, акселерометр, температурный датчик, датчик магнитного поля, который использует высокопроизводительный микропроцессор, а также усовершенствованный динамический расчет с алгоритмом динамической фильтрации Калмана, и способен определять текущее положение датчика в реальном времени и координатах, следовательно точку позиционирования объекта в пространстве, имеет возможность беспроводного подключения по Bluetooth неограниченного количества датчиков к компьютеру, при условии обеспечения авторским программным комплексом;

- Проведена трансформация исходного кода изначального программного обеспечения, при этом модернизированные формулы приведены в строгий математический вид, при котором они могут быть использованы для обоснования преобразования и нормализации передаваемых данных инклинометра-акселерометра при дальнейшем авторском программировании, направленном на обеспечение работоспособности цифрового инклинометрического комплекса

безразборной диагностики (ЦИКБД) для нужд сельского хозяйства и промышленности;

- В целях проверки технологических свойств разрабатываемого комплекса, обоснован и введён коэффициент амплитудного соответствия K_{ac} , для осей фиксации X, Y, Z, отражающий отклонения в измеряемых параметрах для сравнительного и экспериментального объекта исследования;

- Предложена математическая модель целевой функции производительности и проведено априорное ранжирование критериев эффективности ЦИКБД, получен комплексный набор показателей, ответственных за проведение диагностических мероприятий- стоимость единичной проверочной операции, время проверки единичной детали и количество проверенных единиц в час;

- Определены направления применения средств прикладного программирования- на этапах общего совмещения данных для синхронизации и контроля приборных датчиков, и разработки программного обеспечения непосредственно для функционирования комплекса в операции контроля состояния объекта исследования при его применении;

- Осуществлена разработка установочных модулей для приборных датчиков ЦИКБД с проведением модернизации для условий агрессивной окружающей среды (запыленность, большая внешняя нагрузка на датчик, высокая влажность, низкая температура).

- Выполнен теоретический расчёт основных показателей проведения технического обслуживания, эксплуатационных коэффициентов и расчёт показателей производительности трактора при внедрении цифрового инклинометрического комплекса безразборной диагностики.

Для подтверждения полученных результатов необходимо сборка элементов предлагаемого диагностического комплекса, проверка его работоспособности и проведение экспериментальных исследований в производственных условиях.

3. ПРИБОРНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПОР ДВИГАТЕЛЯ. ПРОГРАММА, АЛГОРИТМИКА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Обоснование замера параметров предлагаемым приборно- измерительным комплексом

Для производственной проверки заявленных характеристик предложенного ЦИКБД использован ранее рассмотренный способ диагностирования опор двигателя. Принципиальная рабочая схема ЦИКБД предложена на рисунке 3.1 [149, 150].

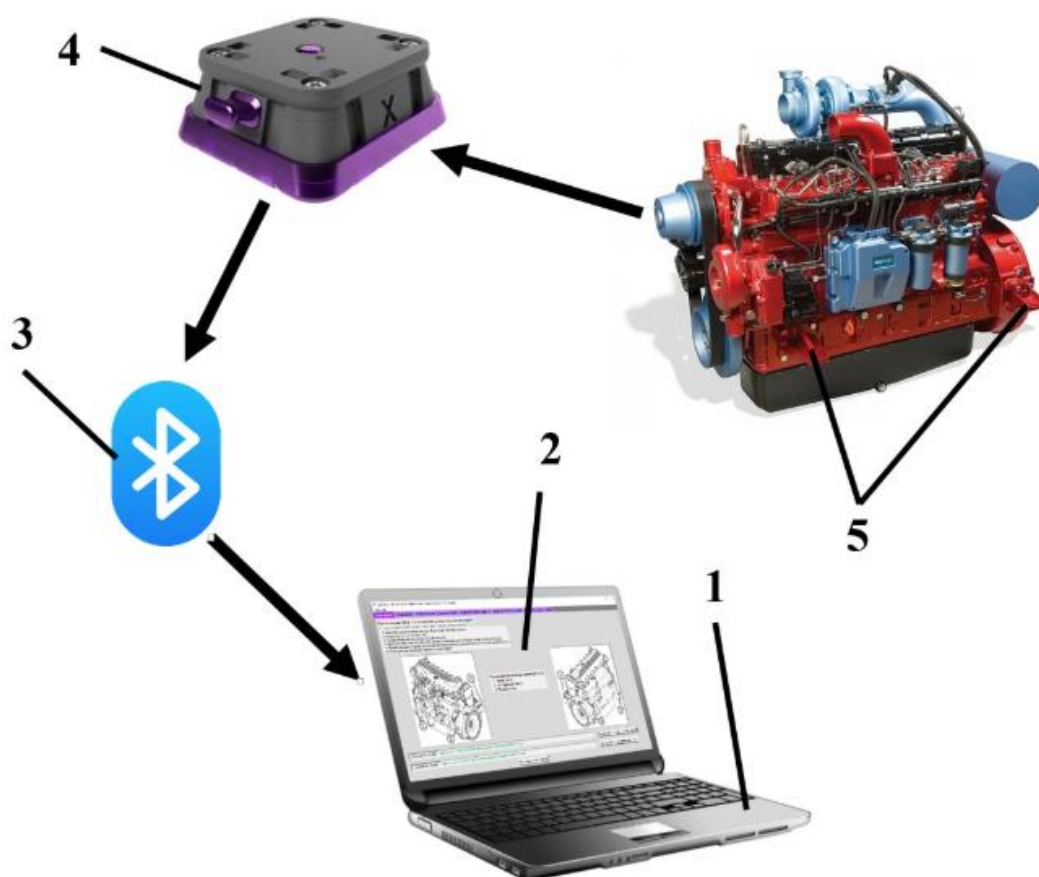


Рисунок 3.1 - Схема цифрового инклинометрического комплекса безразборной диагностики (ЦИКБД) (1 - персональный компьютер оператора-диагноста, 2 - авторское программное обеспечение, 3 - bluetooth-модуль, 4 - диагностический датчик инклинометра-акселерометра, 5 - объект исследования)

Особенностью разработанной измерительной аппаратуры является применение в качестве измерительных датчиков высокоточных инклинометров-акселерометров, способных считывать и передавать в реальном времени следующие показатели- ускорение, температура, угловая скорость, угол отклонения, магнитное поле, кватернион без предварительной подготовки поверхности объекта и отвлечения его от проведения производственных операций. Таким образом необходимым и важным аспектом исследований представляется подбор методики проведения исследований с целью соблюдения требований и условий, способствующих получению реальных экспериментальных данных, и их рациональному использованию при в разрабатываемой программной форме.

3.1.1 Определение уровня вибрационной нагрузки

Состояние опор двигателя внутреннего сгорания влияет как на общий уровень вибрационной нагрузки двигателя, так и непосредственно на техническое состояние колёсного трактора. Для определения уровня вибрационной нагрузки предлагаемым ЦИКБД ориентируемся на: ISO-10816-6, ГОСТ 32108-2013, которые регламентируют следующие условия и показатели, рисунок 3.2 [151].

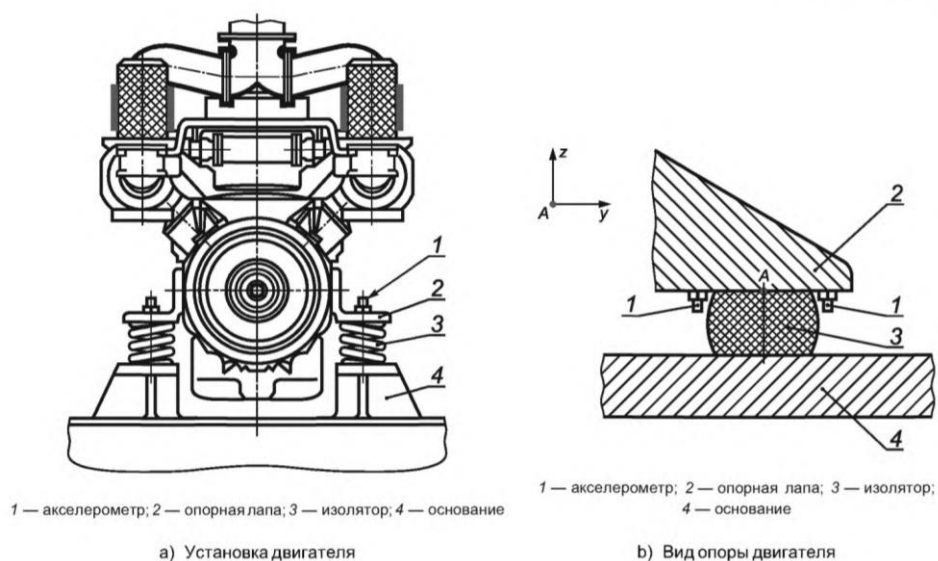


Рисунок 3.2 — Принцип измерений вибрации опоры двигателя

Степени интенсивности вибрации и максимальные значения согласно ISO-10816-6 представлены в таблице 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1- Степени интенсивности вибрации

Степень интенсивности вибрации	Предельные значения общей вибрации, измеренной на корпусе машины		
	Смещение мкм (среднеквадратическое)	Скорость мм/с (среднеквадратическое)	Ускорение м/с ² (среднеквадратическое)
1,1	≤ 17,8	≤ 1,12	≤ 1,76
1,8	≤ 28,3	≤ 1,78	≤ 2,79
2,8	≤ 44,8	≤ 2,82	≤ 4,42
4,5	≤ 71,0	≤ 4,46	≤ 7,01
7,1	≤ 113	≤ 7,07	≤ 11,1
11	≤ 178	≤ 11,2	≤ 17,6
18	≤ 283	≤ 17,8	≤ 27,9
28	≤ 448	≤ 28,2	≤ 44,2
45	≤ 710	≤ 44,6	≤ 70,1
71	≤ 1125	≤ 70,7	≤ 111
112	≤ 1784	≤ 112	≤ 176
180	> 1784	> 112	> 176

Таблица 3.2- Классификационные номера и наводящие

Степень интенсивности вибрации	Предельные значения общей вибрации, измеренной на корпусе машины (среднеквадратическое)			Классификационный номер вибрации машины						
	Смещение мкм	Скорость мм/с	Ускорение м/с ²	1	2	3	4	5	6	7
				Оценочные зоны						
1,1	≤ 17,8	≤ 1,12	≤ 1,76	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B
1,8										
2,8										
4,5										
7,1										
11	≤ 113	≤ 7,07	≤ 11,1	C	C	C	C	C	C	A/B
18	≤ 178	≤ 11,2	≤ 17,6							
28	≤ 283	≤ 17,8	≤ 27,9	D	D	D	D	D	D	A/B
45	≤ 448	≤ 28,2	≤ 44,2							
71	≤ 710	≤ 44,6	≤ 70,1							
112	≤ 1125	≤ 70,7	≤ 111							
180	≤ 1784	≤ 112	≤ 176							

Обозначения зон:

A: Вибрация вновь введенной в эксплуатацию машины обычно попадает в эту зону.

B: Машины с вибрацией в этой зоне обычно считаются годными для длительной непрерывной эксплуатации.

C: Машины с вибрацией в этой зоне обычно считаются неудовлетворительными для длительной непрерывной эксплуатации. Как правило, в таком состоянии эти машины могут работать в течение ограниченного периода времени, пока не появится подходящая возможность для проведения ремонтных работ.

D: Значения вибрации в пределах этой зоны обычно считаются достаточно интенсивными, чтобы вызвать повреждение машины.

Значения вибрации машин с возвратно-поступательным движением могут иметь тенденцию к большему постоянству в течение срока службы данной машины, чем машин вращения. Поэтому зоны А и В объединены в этой таблице. В перспективе по мере накопления опыта будут представлены разные значения для зон А и В.

Таким образом, представленные значения определяют граничные параметры, закладываемые в авторское программное обеспечение.

3.1.2 Измерение вибрационных колебаний разрабатываемым способом

Применение разрабатываемого цифрового инклинометрического комплекса безразборной диагностики, обеспечивает измерение таких показателей как: угловое ускорение, угловая скорость, угол отклонения и амплитуда магнитных колебаний, с частотой снятия показаний от 0,2 Hz до 200 Hz.

К преимуществам использования разрабатываемого приборного комплекса можно отнести возможность одновременной установки до 5 датчиков. А так же возможность применения диагностического комплекса непосредственно во время выполнения трактором сельскохозяйственных операций, во время которых наиболее явно видны неисправности подушек двигателя и наличие чрезмерной вибрационной нагрузки ДВС.

При помощи дополнительного программного обеспечения для сличения сравниваемых показателей с экспериментальными, есть возможность долгосрочного отслеживания работоспособности опор двигателя, что является положительной отличительной характеристикой разрабатываемого комплекса.

За счёт встроенного в программное обеспечение фильтра Калмана, датчики программного комплекса имеют минимальную ошибку по критическим отклонениям.

Фильтр Калмана предназначен для рекурсивного дооценивания вектора состояния априорно известной динамической системы, при этом для расчёта

текущего состояния системы необходимо знать текущее измерение, а также предыдущее состояние самого фильтра.

Таким образом, фильтр Калмана, подобно другим рекурсивным фильтрам, реализован во временном, а не в частотном представлении, но, в отличие от других подобных фильтров, фильтр Калмана оперирует не только оценками состояния, а ещё и оценками неопределённости (плотности распределения) вектора состояния, опираясь на формулу Байеса условной вероятности [152, 153, 154].

3.2 Проведение экспериментальных исследований

В качестве объектов исследования при получении доказательной базы эффективности предлагаемого ЦИКБД и способа диагностики опор двигателя приняты следующие сельскохозяйственные тракторы, рисунок 3.3-3.5 [155 - 158].



Рисунок 3.3- Объект диагностирования № 1, трактор New Holland T9.505.
гос. номер 0711

Капитальный ремонт производился 10.11.2022, наработка на момент ремонта 12838 моточасов. При ремонте проведена замена всех уплотнителей, фильтров, комплекты коренных и шатунных вкладышей, насос масляный, вся поршневая группа двигателя в комплекте.



Рисунок 3.4- Объект диагностирования № 2, трактор New Holland T9.505.
гос. номер 2321

На этом объекте проведена замена двигателя на новый 06.09.2024, вместе с опорами. Нароботка машины после ремонта составила 211 моточасов. В связи с чем его данные были взяты за сравниваемые показатели.



Рисунок 3.5- Объект диагностирования № 3, трактор New Holland T9.505.

гос. номер 6941

Капитальный ремонт этого объекта производился 15.07.2021, наработка на момент ремонта 6933 моточасов. Проведена замена всех уплотнителей, масляного насоса, поршневой группы в сборе, смена топливных форсунок.

Экспериментальные исследования проводились на опорах двигателя колёсного трактора NewHolland T9.505. Технические характеристики представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Технические характеристики New Holland T9.505

Двигатель	FPT Cursor 13
Количество цилиндров / Атмосферный / Клапаны / Уровень выбросов	6/ WT / 4 / Tier 2
Рабочий объем	12700 куб.см
Макс. мощность с EPM - ISO TR14396 - ECE R120	369 кВт
Номинальная мощность - ISO TR14396 - ECE R120	336 кВт

Номинальная частота вращения двигателя	2100 об/мин
Вместимость топлива	1230 л
Радиус поворота	4900 мм
Производительность главного насоса (стандарт / опция с повышенной производительностью)	159 / 216 л/мин
Мин. несбалансированный / отгрузочный вес (без установленной задней навесной системы или ВОМ)	15626 кг
Максимально допустимый вес	22453 кг
Типоразмером шин	710/70R42
Колесная база	3759 мм
Клиренс (в зависимости от тягового бруса)	443 мм

Схема проверяемого двигателя показана на рисунке 3.6.

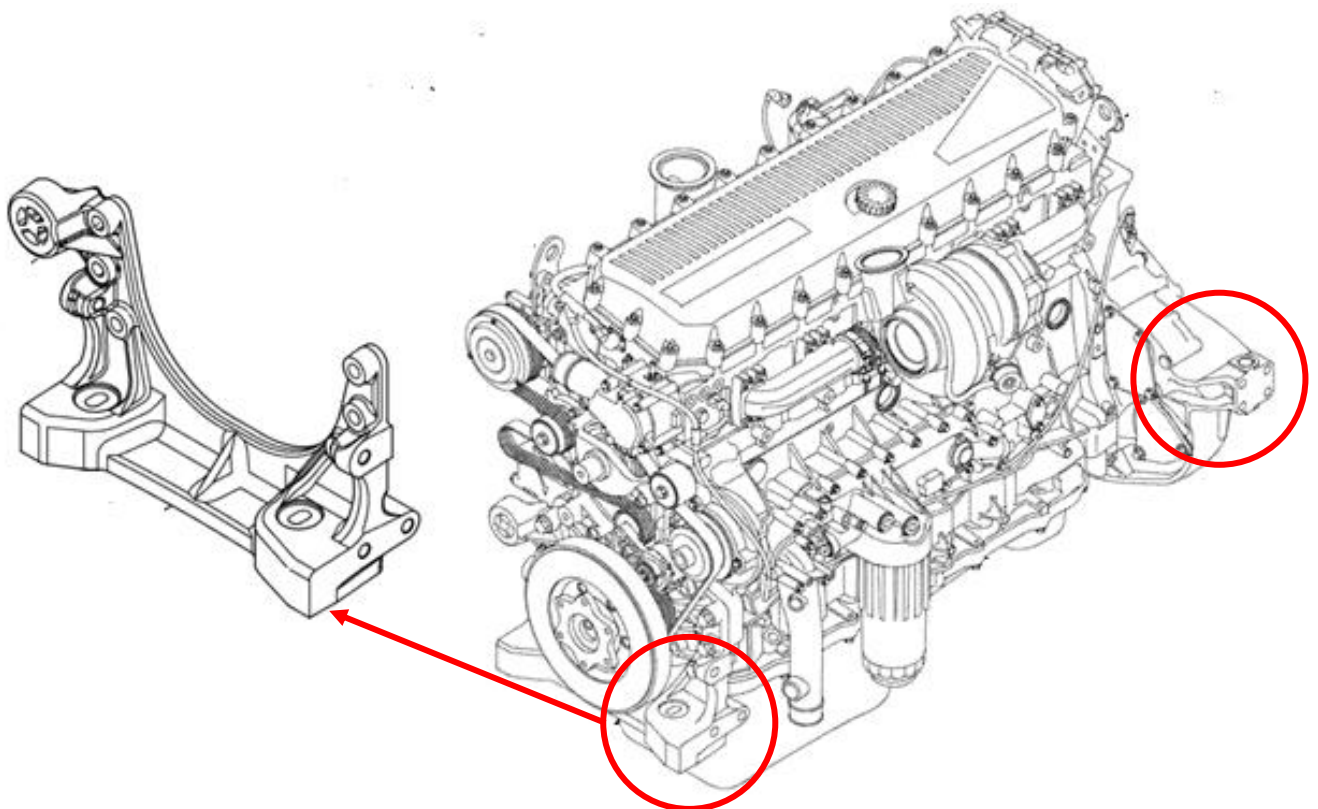


Рисунок 3.6 - Схема двигателя FPT Cursor 13 с объединённой передней опорой

Учитывая, что переднее крепление двигателя FPT Cursor 13 имеет монолитную конструкцию, имеет смысл установить на неё только 1 датчик

ЦИКБД, так как при неисправности любой из пластичных опор, будет выявлена аномальная вибрационная активность. Рекомендации абсолютно всех производителей говорят о том, что при неисправности одной единственной опоры, необходимо заменить их все, в связи с повышенной нагрузкой на оставшиеся опоры при неисправности единичной. Схема установки опор дана на рисунке 3.7.

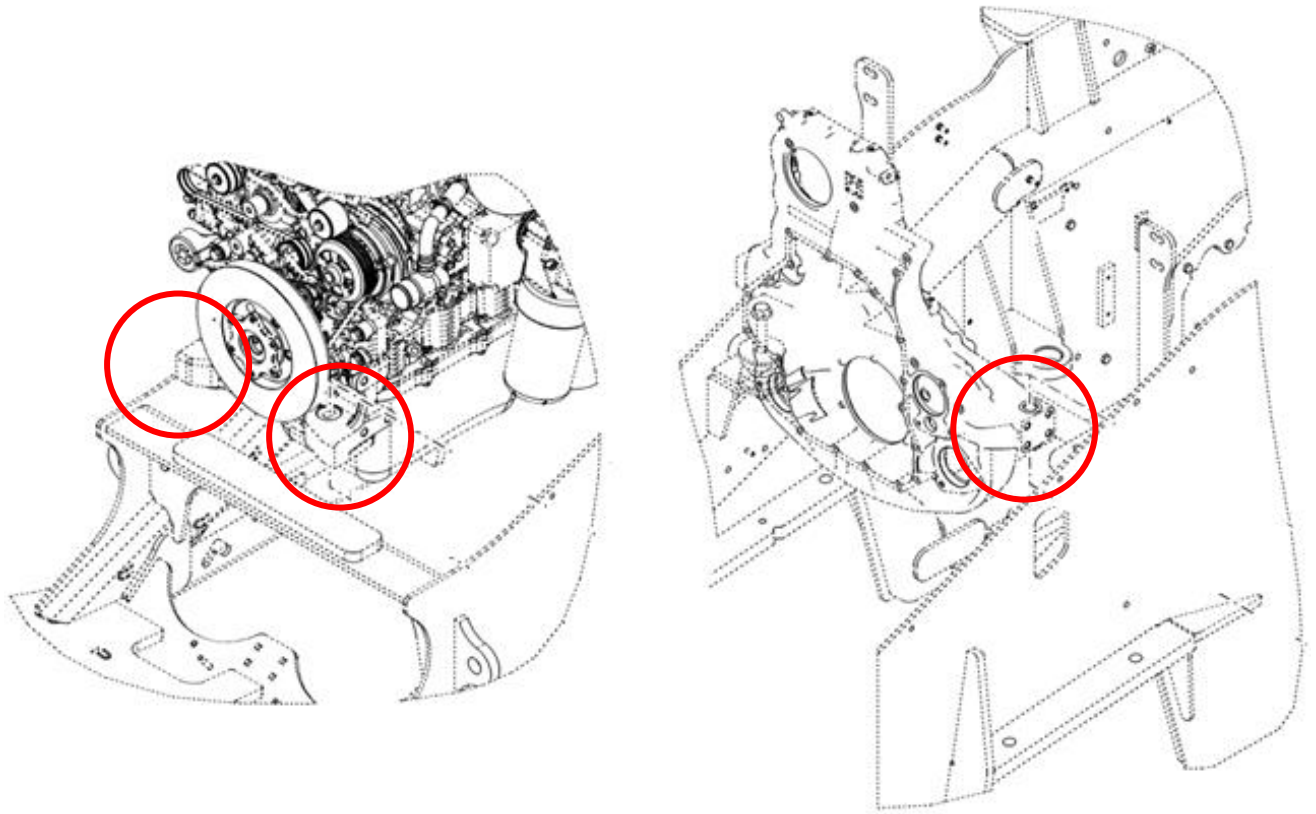


Рисунок 3.7- Схема с внешним видом крепления установки опор двигателя FPT

Cursor 13

При проведении экспериментальных исследований, датчики ЦИКБД были установлены в точках, обеспечивающих максимальное сопряжение поверхности датчика с поверхностью объекта исследования, рисунок 3.8.

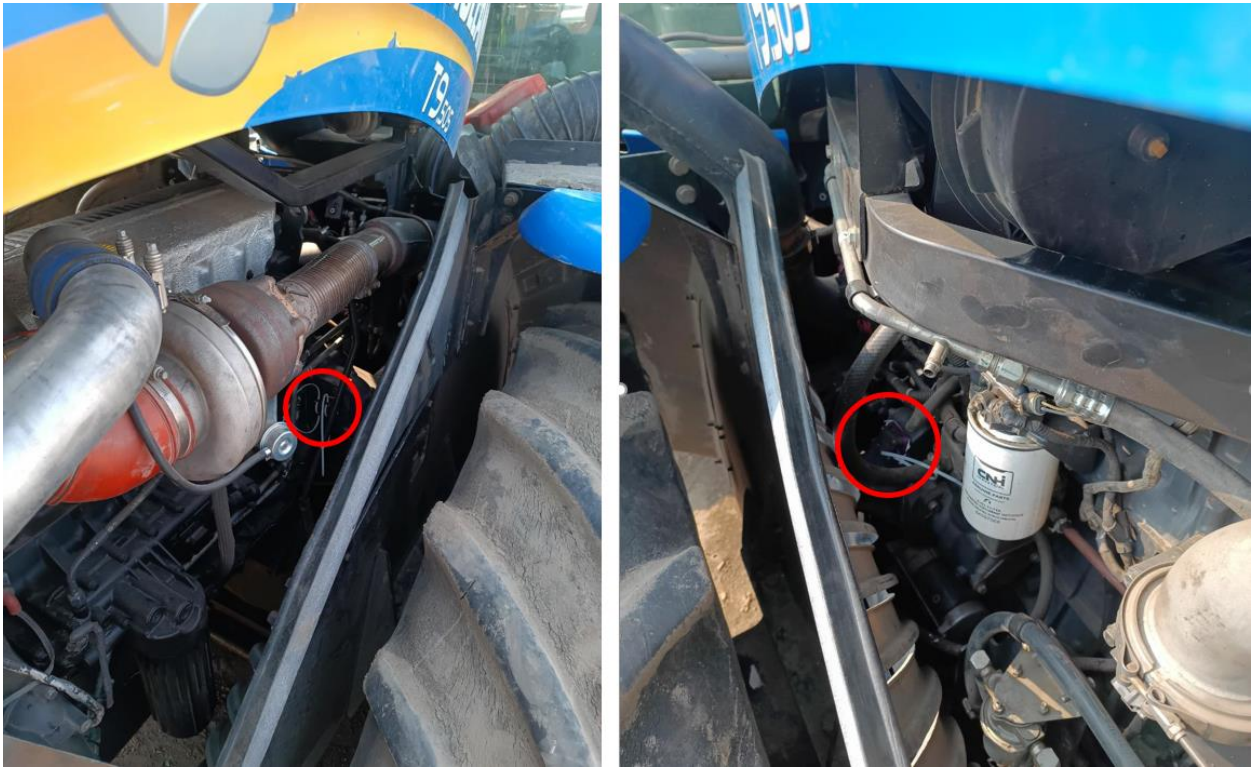


Рисунок 3.8 - Место установки диагностических датчиков № 1 и №2



Рисунок 3.9 - Место установки датчика №3

Так как система крепления двигателя на объекте исследования трёхпорная, принято решение об использовании в составе измерительного комплекса трёх диагностических датчиков.

3.3 Снятие показателей и обработка первичного сигнала ЦИКБД

Показатели диагностических датчиков формировали общий массив данных и обрабатывались авторской программой ЦИКБД ВИБРУМ [157, 158, 159, 160].

При открытии программы появляется приветственное окно с партнёрами. Для начала работы необходимо нажать кнопку 1 - «Начать работу», рисунок 3.10.

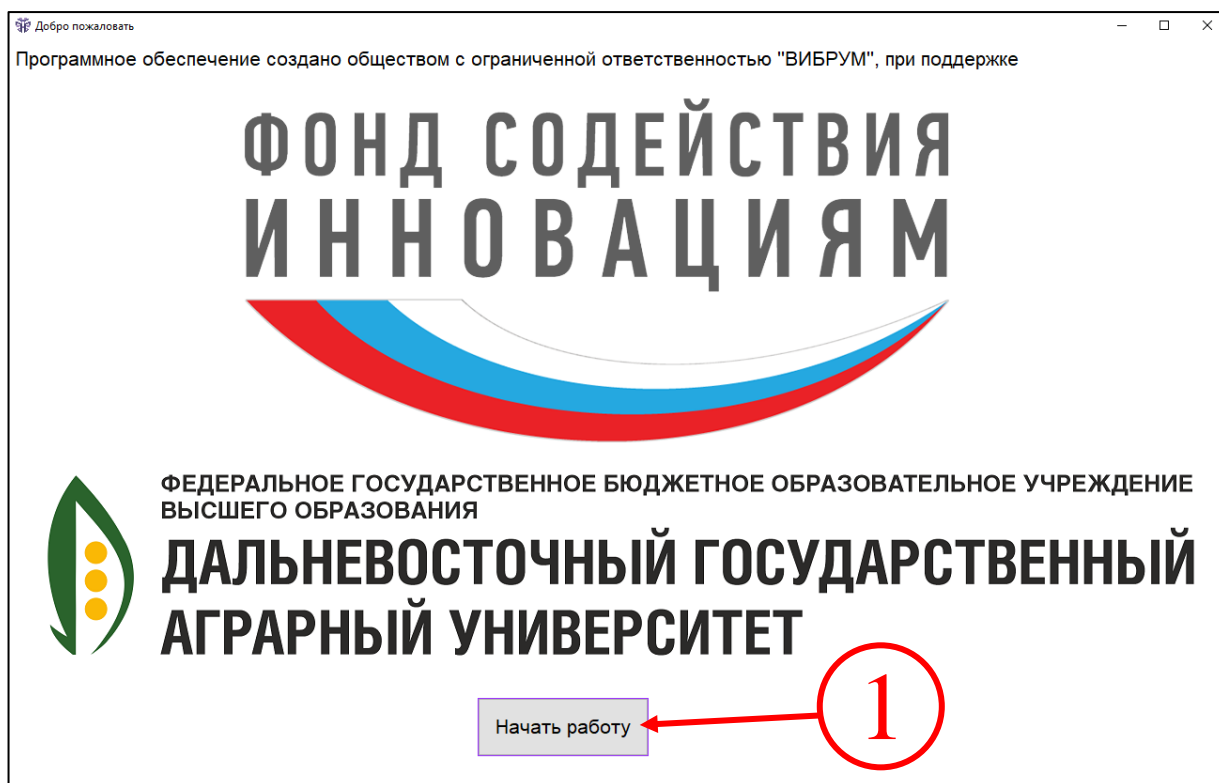


Рисунок 3.10 – Приветственное окно программного обеспечения

Далее мы попадаем в основное окно программного обеспечения, рисунок 3.11.

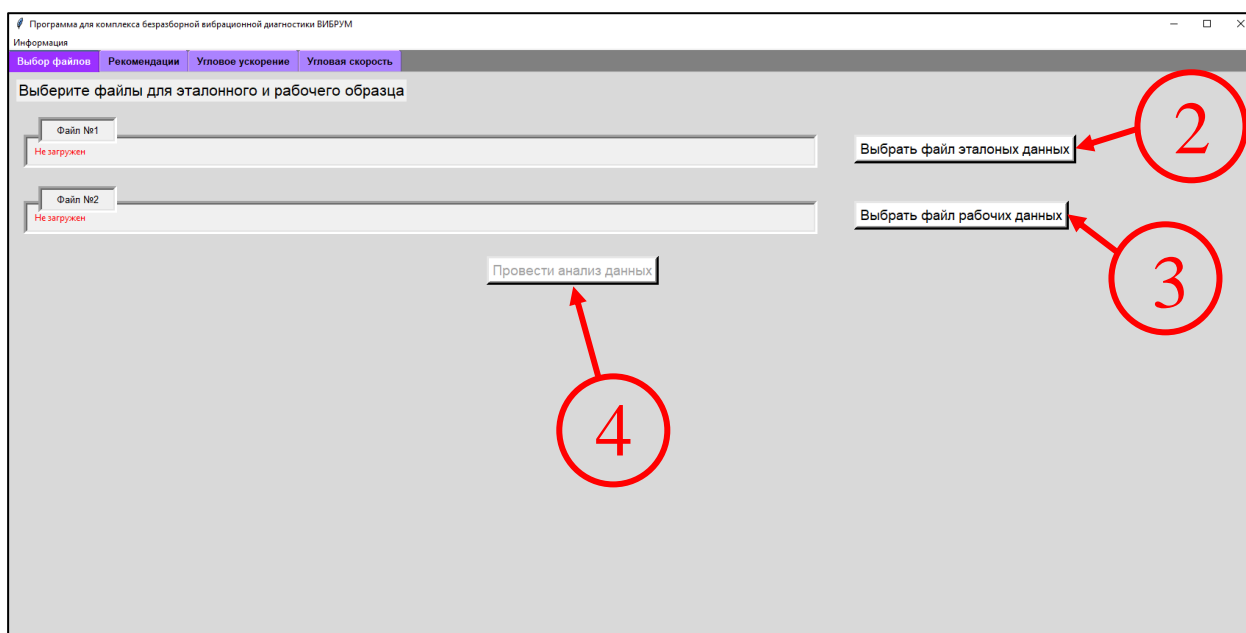


Рисунок 3.11 – Основное окно программного обеспечения

В основном окне программного обеспечения по умолчанию находится 4 вкладки: 1 вкладка – Выбор файла, 2 вкладка – Рекомендации, 3 вкладка – Угловое ускорение, 4 вкладка – Угловая скорость.

1 вкладка, отвечает за выбор файлов для сравнения, в полях файл №1 и файл №2 отображается информация выбраны ли в данный момент какие-либо файлы для сравнения или ничего не выбрано.

При нажатии кнопки 2 – «Выбрать файл эталонных данных» появляется окно выбора файлов, рисунок 3. Если нужных файлов не видно, необходимо перейти в директорию в которой находятся файлы с записанными данными. Обязательно учитывайте, что программное обеспечение работает исключительно с файлами в формате .ТХТ. Для выбора файлов необходимо навести курсор мыши на нужный файл и нажать ЛКМ дважды, рисунок 3.12.

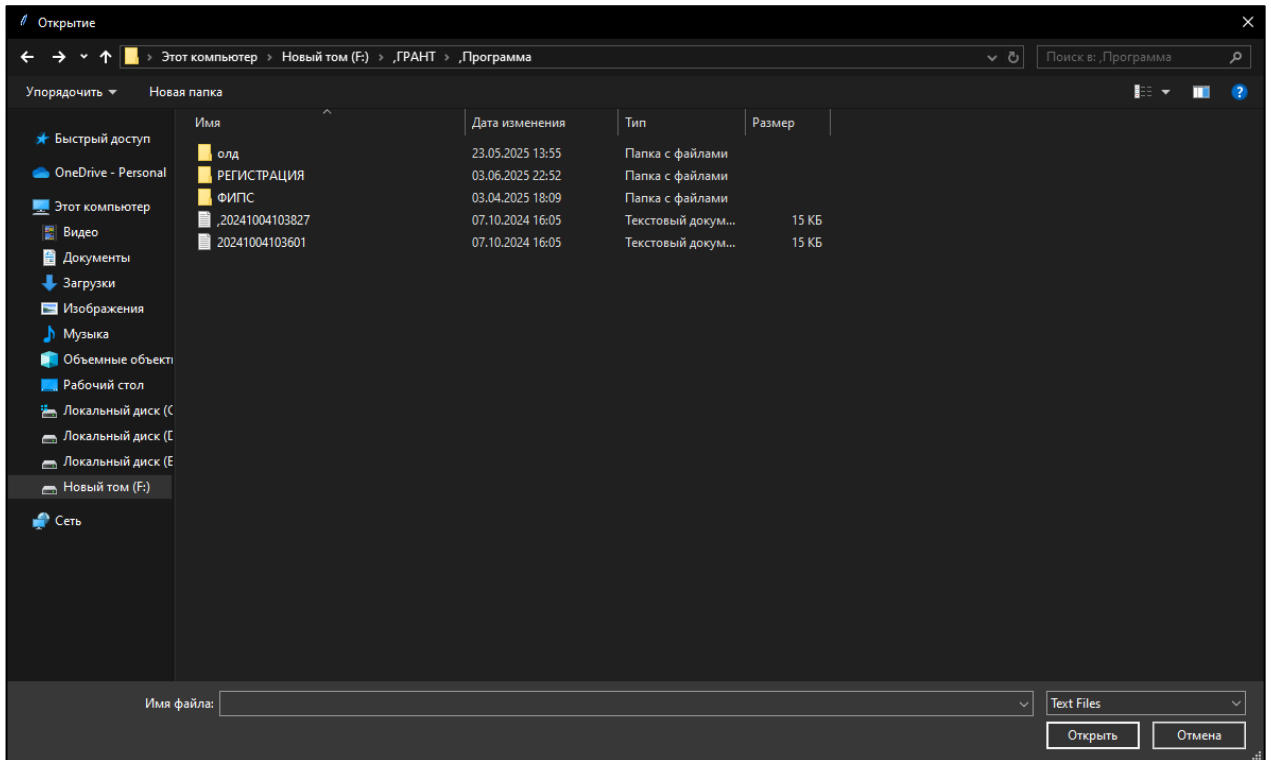


Рисунок 3.12 – Окно выбора файлов

Следует выбрать файл, который определён как эталонный.

При нажатии кнопки 3 – «Выбрать файл рабочих данных» появляется окно выбора файлов, в нём следует выбрать файл, который определён как файл с рабочими показателя вибрации.

Дальше, когда оба файла выбраны, становится активной кнопка 4 – «Провести анализ данных». При нажатии на неё происходит сравнение двух выбранных файлов. Необходимо подождать определённое количество времени (обычно меньше 10 секунд), время ожидания зависит от объёма записанных данных и мощности процессора персональной ЭВМ.

После нажатия кнопки 4, в окне программы появляется ещё несколько вкладок, каждая вкладка соответствует найденному датчику в анализируемых файлах, рисунок 3.13.

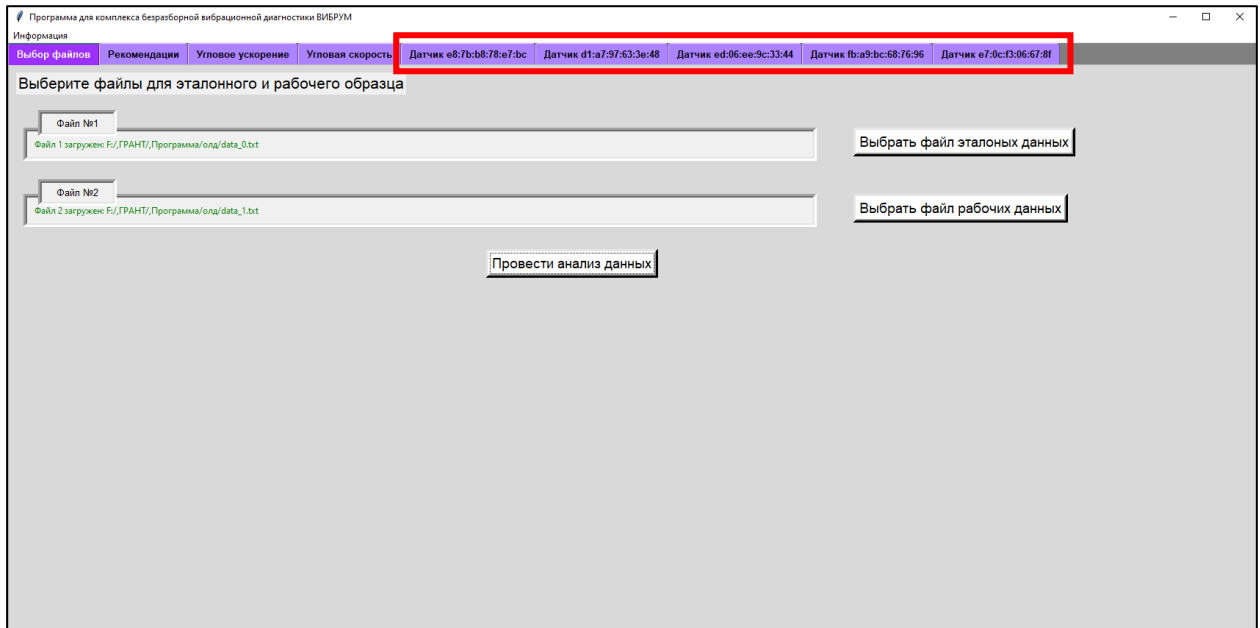


Рисунок 3.13 – Окно программы с появившимися новыми вкладками

2 вкладка, отвечает за вывод рекомендаций, в этой вкладке находится следующая информация: Название датчиков; Угловое ускорение по трём осям X, Y и Z; Угловая скорость по трём осям X, Y и Z; Рассчитанные среднеарифметические значения по каждой из осей и коэффициенты по которым происходит расчёт рекомендаций; Рекомендации относительно каждого датчика, рисунок 3.14.

Сводка данных по датчикам			
Название датчика	Угловое ускорение (Эталон/Рабочий/Коэффициенты)	Угловая скорость (Эталон/Рабочий/Коэффициенты)	Рекомендации
d1:a7:97:63:3e:48	Эталон: X=0.096, Y=0.111, Z=0.855 Рабочий: X=0.446, Y=0.520, Z=1.114 Коэффициенты: X=4.633, Y=4.689, Z=1.303	Эталон: X=25.842, Y=25.831, Z=18.785 Рабочий: X=148.625, Y=117.093, Z=93.012 Коэффициенты: X=5.751, Y=4.533, Z=4.951	Аварийное состояние узла. Необходимо немедленно остановить эксплуатацию и провести ремонт или замену компонентов.
e7:0c:f3:06:67:8f	Эталон: X=0.091, Y=0.111, Z=0.852 Рабочий: X=0.378, Y=0.464, Z=1.032 Коэффициенты: X=4.137, Y=4.196, Z=1.212	Эталон: X=26.195, Y=25.720, Z=18.793 Рабочий: X=149.822, Y=119.237, Z=93.901 Коэффициенты: X=5.719, Y=4.636, Z=4.999	Аварийное состояние узла. Необходимо немедленно остановить эксплуатацию и провести ремонт или замену компонентов.
e8:7b:b8:78:e7:bc	Эталон: X=0.083, Y=0.105, Z=0.845 Рабочий: X=0.335, Y=0.426, Z=0.958 Коэффициенты: X=4.032, Y=4.049, Z=1.131	Эталон: X=25.676, Y=25.898, Z=18.754 Рабочий: X=148.026, Y=117.181, Z=93.706 Коэффициенты: X=5.765, Y=4.525, Z=4.997	Аварийное состояние узла. Необходимо немедленно остановить эксплуатацию и провести ремонт или замену компонентов.
ed:06:ee:9c:33:44	Эталон: X=0.079, Y=0.096, Z=0.837 Рабочий: X=0.221, Y=0.400, Z=0.816 Коэффициенты: X=2.800, Y=4.166, Z=0.974	Эталон: X=26.485, Y=25.966, Z=17.095 Рабочий: X=150.414, Y=120.530, Z=95.746 Коэффициенты: X=5.679, Y=4.642, Z=5.601	Аварийное состояние узла. Необходимо немедленно остановить эксплуатацию и провести ремонт или замену компонентов.
fb:a9:bc:68:76:96	Эталон: X=0.085, Y=0.102, Z=0.826 Рабочий: X=0.280, Y=0.401, Z=0.862 Коэффициенты: X=3.296, Y=3.942, Z=1.044	Эталон: X=26.303, Y=25.795, Z=18.532 Рабочий: X=149.454, Y=120.580, Z=94.454 Коэффициенты: X=5.882, Y=4.674, Z=5.097	Аварийное состояние узла. Необходимо немедленно остановить эксплуатацию и провести ремонт или замену компонентов.

Рисунок 3.14 – Окно программы с включённой вкладкой рекомендации

3 вкладка, отвечает за построение графиков углового ускорения по каждой оси каждого датчика, на графиках находятся линии эталонного файла (прямая линия) и рабочего файла (штриховая линия), рисунок 3.15.

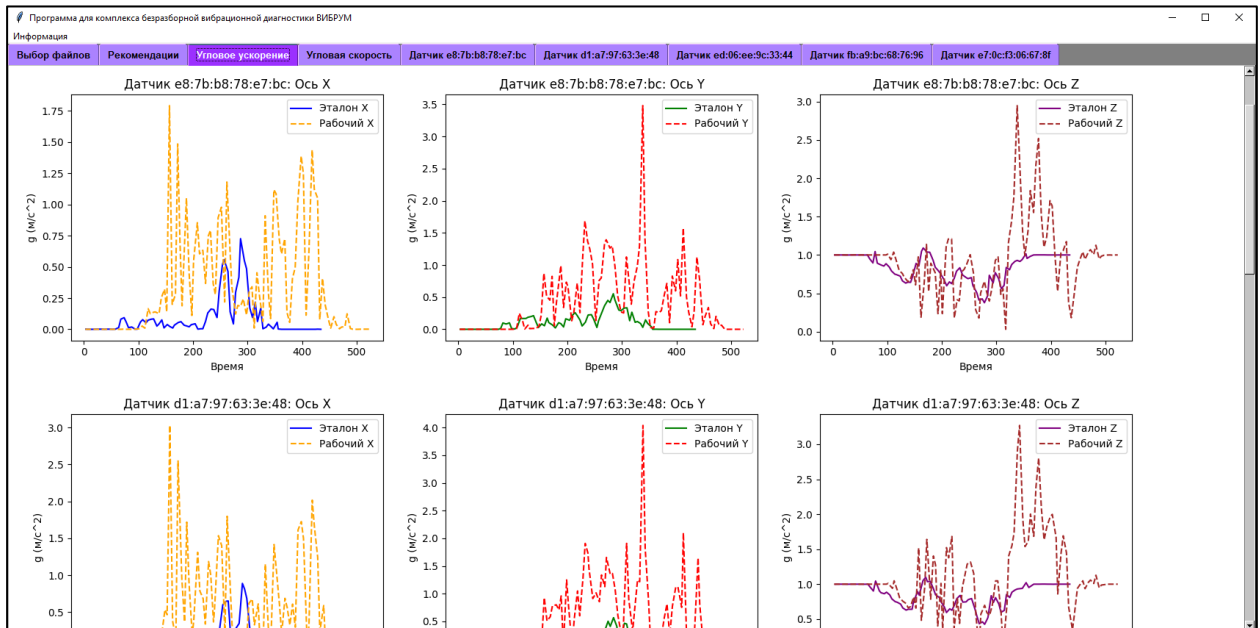


Рисунок 3.15 – Окно программы с включённой вкладкой угловое ускорение

При помощи скроллбара, находящего в правой стороне можно перейти к нижней части вкладки, в которой находится блок управления графиками, рисунок 3.16.

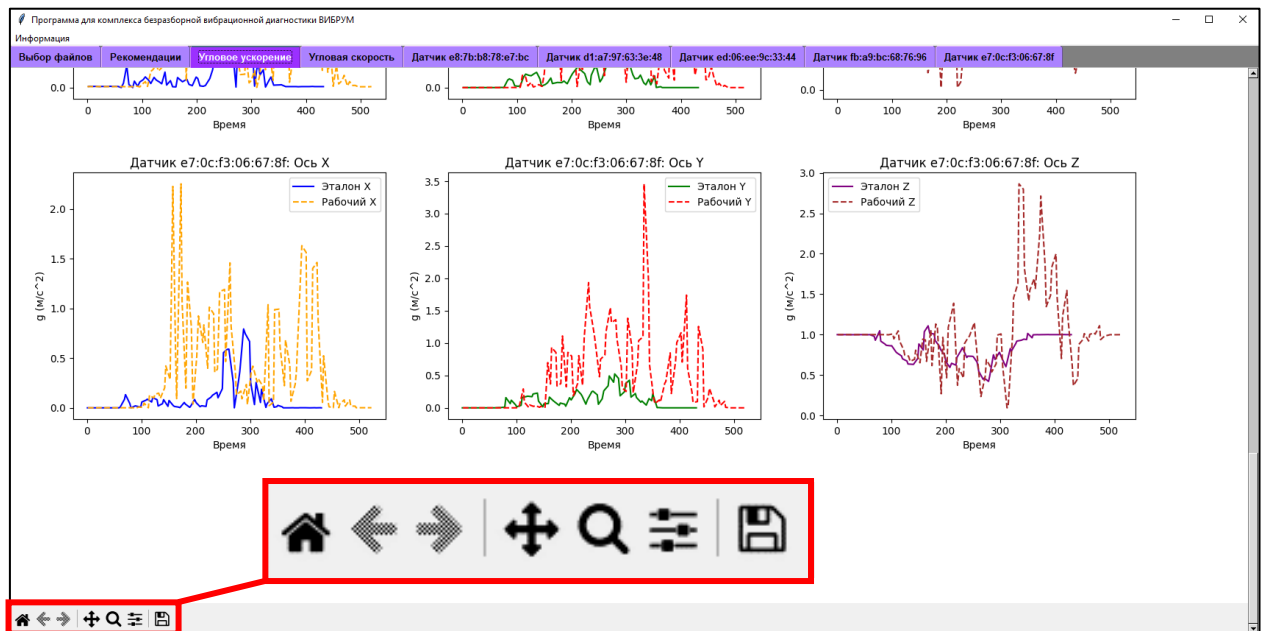







Рисунок 3.16 – Вкладка угловое ускорение, блок управления графиками


Кнопка  отвечает за возврат графиков к первоначальному виду.

Кнопки   позволяют перемещаться по шагам изменений графиков вперёд и назад.

Кнопка  позволяет перемещаться по графику, если он имеет большие размеры.

Кнопка  отвечает за увеличение определённого отрезка графика при помощи выделения этого фрагмента, что позволяет более точно идентифицировать проблему.

Кнопка  открывает дополнительное окно управления параметрами внешнего вида графиков, то есть позволяет сделать их шире или ниже, а так же обеспечивает настройку взаиморасположения графиков и их расстояние между друг другом.

Кнопка  Позволяет сохранить все поля графиков в формате .PNG, .PDF, .JPEG в выбранной вами директории.

Данные кнопки управления графиков работают абсолютно со всеми вкладками с графиками в программном обеспечении.

4 вкладка отвечает за построение графиков угловой скорости по каждой оси каждого датчика, на графиках находятся линии эталонного файла (прямая линия) и рабочего файла (штриховая линия), рисунок 3.17.

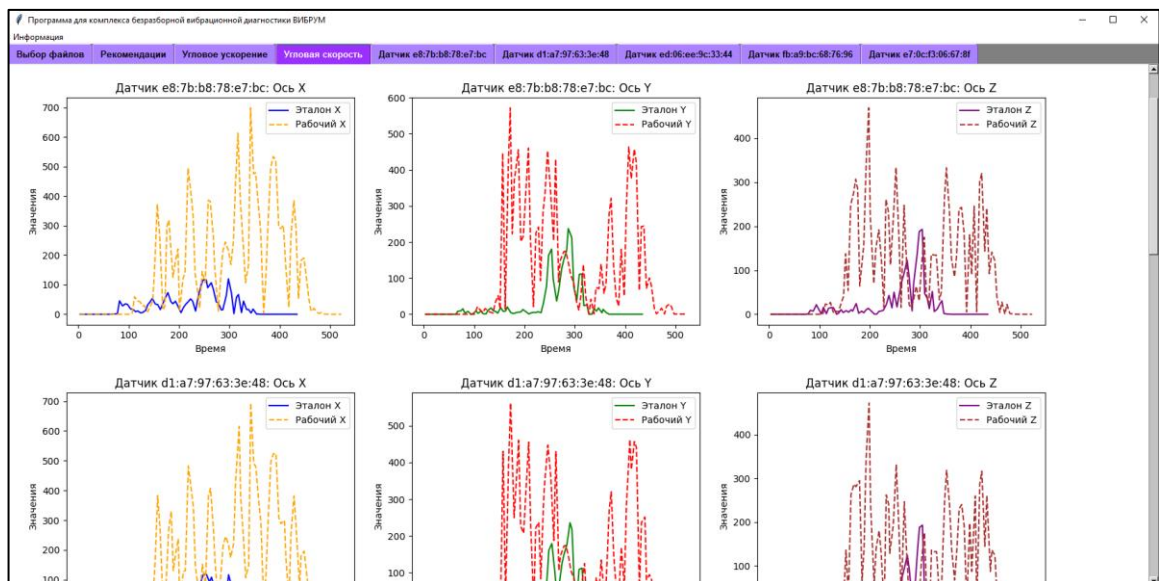


Рисунок 3.17 – Окно программы с включённой вкладкой угловая скорость

Все вкладки появляющиеся после нажатия кнопки «Провести анализ данных» пронумерованы следующим образом «Датчик ...», каждая вкладка появляются при чтении программным обеспечением анализируемых файлов, стоит учитывать, что в файлах должны быть идентичные датчики, иначе программное обеспечение выдаст ошибку о несовпадении датчиков в файлах и проведёт анализ данных только по совпавшим датчикам, рисунок 3.18-3.20.

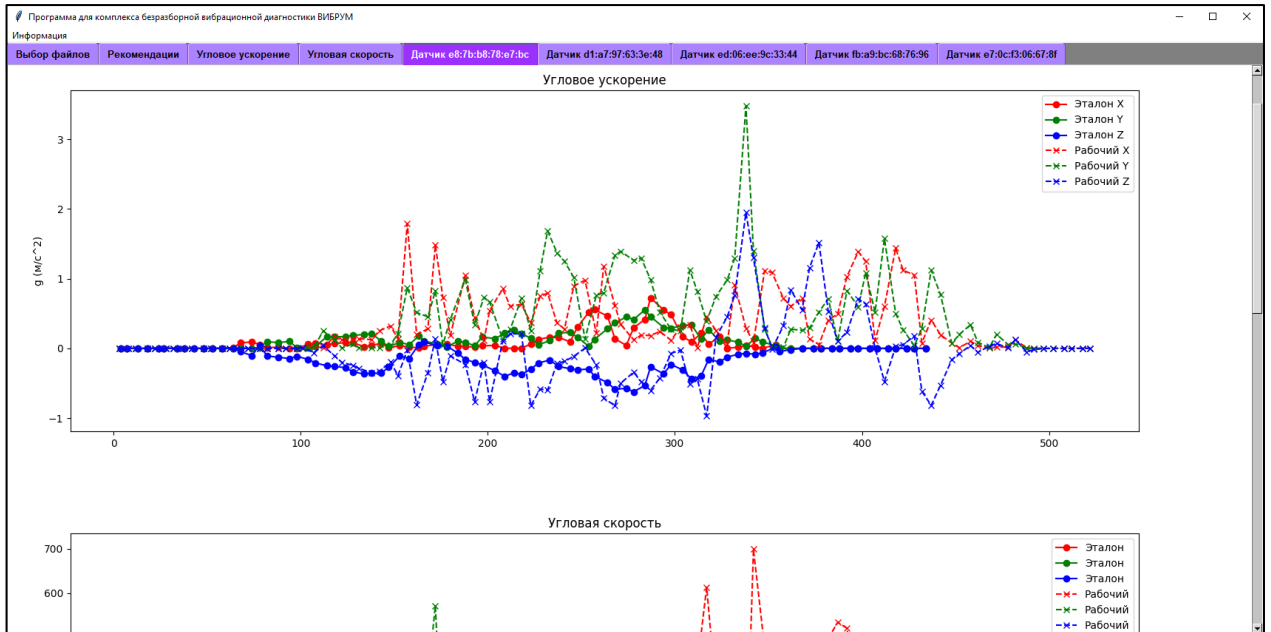


Рисунок 3.18 – Вкладка датчика 1, график углового ускорения

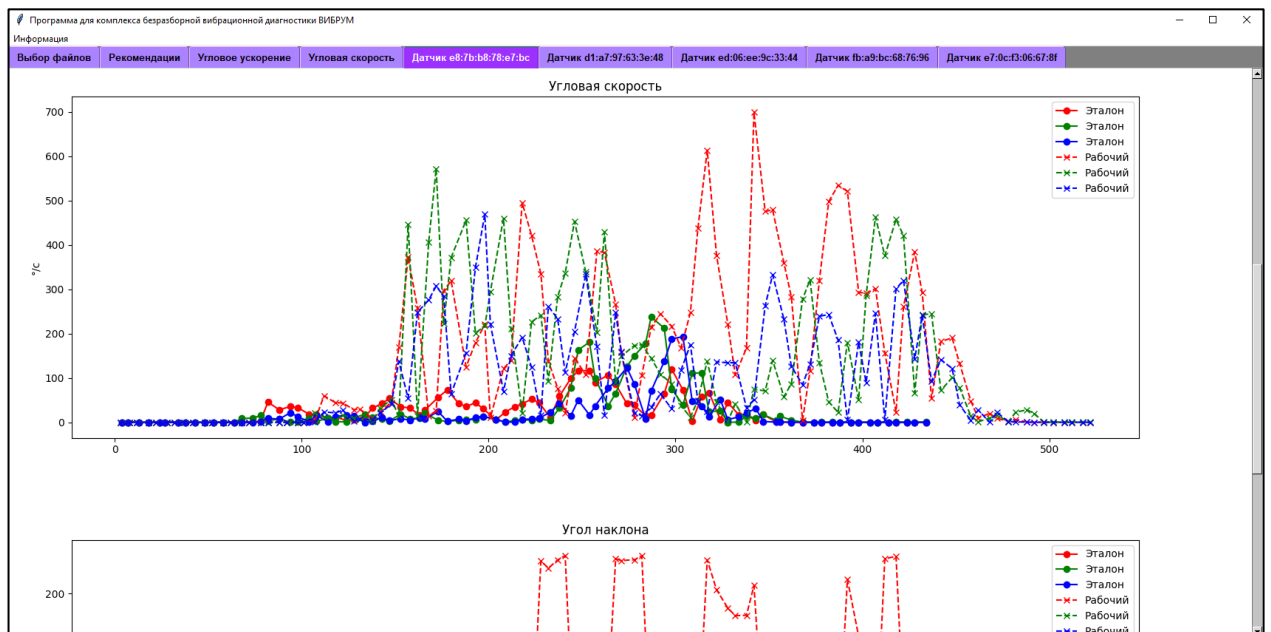


Рисунок 3.19 – Вкладка датчика 1, график угловая скорость

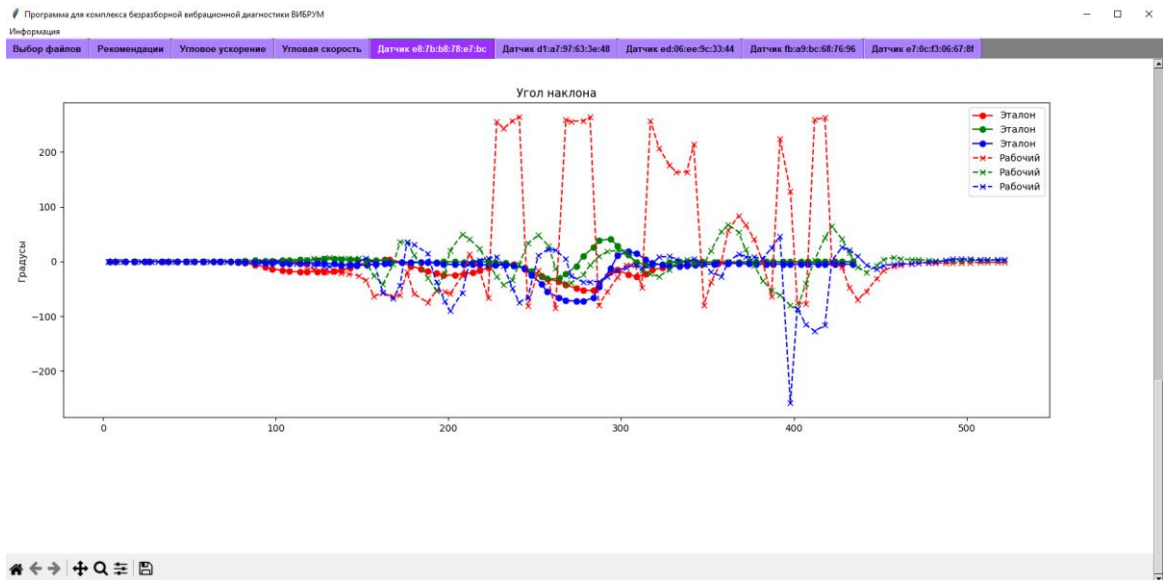


Рисунок 3.20 – Вкладка датчика 1, график угла наклона и блок управления графиками

Во вкладках по датчикам находятся сравнительные графики эталонного и рабочего файлов, в каждом графике находятся данные по всем трём осям. Графики демонстрируют данные о угловом ускорении, угловой скорости и угле наклона. Таким образом осуществляется обработка и получение необходимой информация для применения по назначению.

3.4 Снятие показателей и обработка сигналов ЦИКБД при применении для инклинометрической диагностики опор двигателя внутреннего сгорания

Показатели диагностических датчиков формировали общий массив данных, поступали в авторскую программу ЦИКБД ВИБРУМ и вторично обрабатывались программой для инклинометрической диагностики опор двигателя внутреннего сгорания.

В данном программном обеспечении нет приветственного окна, то есть при запуске мы сразу попадаем в основное рабочее окно, рисунок 3.21.

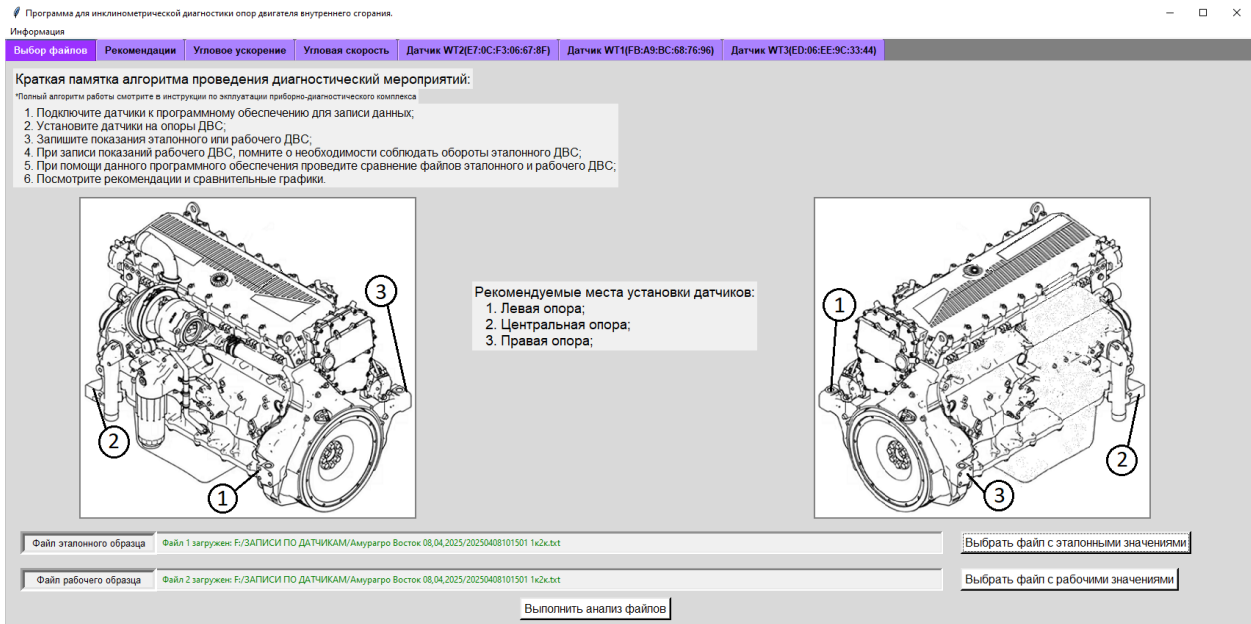


Рисунок 3.21 – Основное окно программного обеспечения

В отличие от «Программа для комплекса безразборной вибрационной диагностики ВИБРУМ», данное программное обеспечение так же имеет в интерфейсе рекомендации по точкам установки датчиков ЦИКБД.

Так же существенным отличием можно назвать отличающиеся рекомендации, рисунок 3.22.

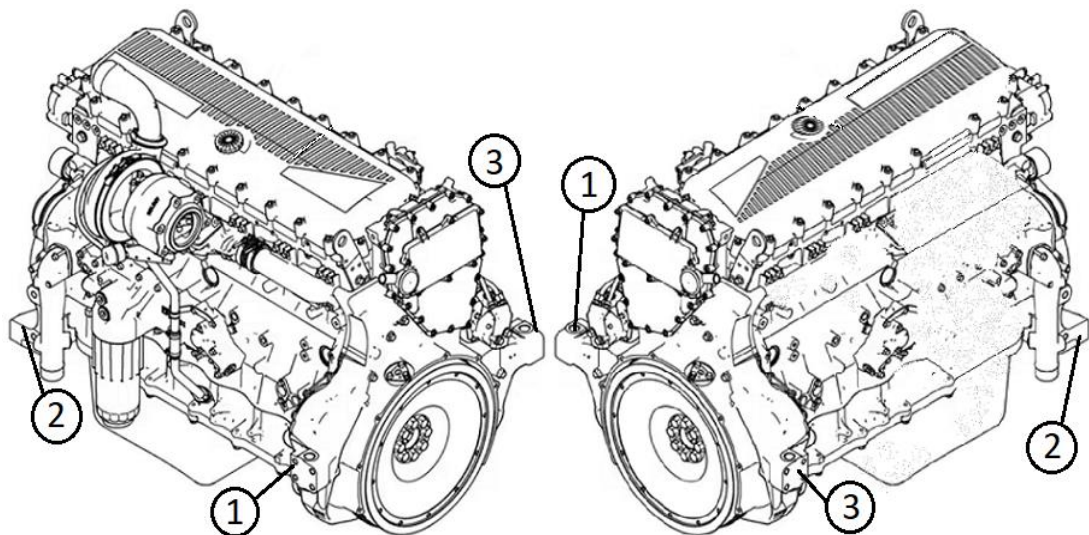


Рисунок 3.22 – рекомендуемые точки установки датчиков ЦИКБД

Принятие решения о дальнейшей эксплуатации подушек двигателя складывается не только из вкладки «Рекомендации» программного обеспечения, но также и обязательно стоит внимательно просмотреть все графики, которые формирует программное обеспечение.

4 ГЛАВА. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ АВТОРСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ И ОПЫТНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОВЕДЁННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты проведения авторского программирования

Как указывалось ранее, оригинальное программное обеспечение выбранных приборных средств диагностирования не позволяет использовать их для применения в составе ЦИКБД. В связи с чем было проведено дополнительное программирование в среде Python, которое, базируясь на оригинальном программном обеспечении, модернизировалось для обеспечения информативных потребностей предлагаемого диагностического комплекса - ЦИКБД [156, 157, 158, 160].

Программа предназначена для комплекса безразборной вибрационной диагностики, устанавливаемого на объекты промышленности, имеющие детали вращения. Программа может использоваться в промышленности для определения вибрационной нагрузки и общего отклонения объектов. Функциональные возможности программы заключаются в загрузке, обработке и сравнении получаемых файлов в расширении .txt с данными полученными от комплекса безразборной вибрационной диагностики, выдаче рекомендаций по дальнейшей работе с обследуемым объектом: определение необходимости срочных ремонтных мероприятий и составлении сравнительных графиков углового ускорения, угловой скорости и угла наклона. На программное обеспечение «Программа для комплекса безразборной вибрационной диагностики ВИБРУМ» получено Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2025662808 [160].

Часть исходного кода разработанной программы представлена на рисунке 4.1.

<pre> from tkinter import * import tkinter as tk from tkinter import ttk, filedialog, messagebox import tkinter.messagebox import pandas as pd import matplotlib.pyplot as plt import numpy as np from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg, NavigationToolbar2Tk from PIL import ImageTk, Image from math import isclose ws = Tk() ws.title("Добро пожаловать") ws.geometry("1300x800") ws.configure(bg="white") ws.iconbitmap("123.ico") label1 = Label(ws, text="Программное обеспечение создано обществом с ограниченной ответственностью "ВИБРУМ", при поддержке", font=('Helvetica', 16), bg="white") label1.place(x=5, y=5) def menupopup(event): try: pop_up.tk_popup(event.x_root, event.y_root, 0) finally: pop_up.grab_release() ws.bind("<Button-3>", menupopup) pop_up = Menu(ws, tearoff=0) pop_up.add_command(label="Option 1") pop_up.add_command(label="Option 2") button1 = ttk.Button(ws, text="Начать работу", command=ws.destroy, style='Rounded.TButton') button1.place(x=500, y=700) style = ttk.Style() </pre>	<pre> label="Эталон", color="blue", marker='o') axes[2].plot(df2.index, df2[10], label="Рабочий", color="red", linestyle="--", marker='x') axes[2].plot(df2.index, df2[11], label="Рабочий", color="green", linestyle="--", marker='x') axes[2].plot(df2.index, df2[12], label="Рабочий", color="blue", linestyle="--", marker='x') axes[2].set_title("Угол наклона") axes[2].set_ylabel("Градусы") axes[2].legend() canvas_plot = FigureCanvasTkAgg(fig, master=scrollable_frame) canvas_plot.draw() canvas_plot.get_tk_widget().pack(side=tk.TOP, fill=tk.BOTH, expand=True) toolbar = NavigationToolbar2Tk(canvas_plot, scrollable_frame) toolbar.update() toolbar.pack(side=tk.TOP, fill=tk.BOTH, expand=True) if __name__ == "__main__": root = tk.Tk() menubar = tk.Menu(root) info_menu = tk.Menu(menubar, tearoff=0) info_menu.add_command(label="О программе", command=show_info) menubar.add_cascade(label="Информация", menu=info_menu) root.config(menu=menubar) app = DataComparer(root) root.mainloop() </pre>
--	---

Рисунок 4.1- Часть исходного кода «Программы для комплекса безразборной
вибрационной диагностики ВИБРУМ»

Полученное авторское программное обеспечение предназначено для общего совмещения получаемых данных, синхронизации и контроля приборных датчиков.

Непосредственно для функционирования комплекса в операции контроля состояния объекта исследования при применении ЦИКБД для использования в способе инклинометрической диагностики опор двигателя внутреннего сгорания в среде Python разработано программное обеспечение «Программа для инклинометрической диагностики опор двигателя внутреннего сгорания». Программа предназначена для инклинометрической вибрационной диагностики опор двигателя внутреннего сгорания.

Функциональные возможности программы заключаются в загрузке и сравнении двух файлов в расширении .txt с данными полученными от комплекса безразборной вибрационной диагностики, выдаче рекомендаций по дальнейшей работе с изучаемым объектом: определение необходимости замены опор двигателя и составлении сравнительных графиков углового ускорения, угловой скорости и угла наклона. Программа может использоваться в сельском хозяйстве и в автотранспорте для диагностики опор двигателя внутреннего сгорания. Часть исходного кода разработанной программы представлена на рисунке 4.2.

<pre> from tkinter import * import tkinter as tk from tkinter import ttk, filedialog, messagebox import tkinter.messagebox import pandas as pd import matplotlib.pyplot as plt import numpy as np from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg, NavigationToolbar2Tk from PIL import ImageTk, Image from math import isclose def show_info(): info_text = "Программное обеспечение входит в приборно- диагностический комплекс безразборной вибрационной </pre>	<pre> axes[idx][2].plot(sensor_df1.index, sensor_df1[8], label="Эталон Z", color="purple") axes[idx][2].plot(sensor_df2.index, sensor_df2[8], label="Рабочий Z", color="brown", linestyle="--") axes[idx][2].set_title(f"Датчик {sensor}: Ось Z") axes[idx][2].set_xlabel("Hz") axes[idx][2].set_ylabel("°/s") axes[idx][2].legend() canvas_plot = FigureCanvasTkAgg(fig, master=self.scrollable_tab4) canvas_plot.draw() canvas_plot.get_tk_widget().pack(side=tk.TOP, fill=tk.BOTH, expand=True, anchor="w") toolbar = NavigationToolbar2Tk(canvas_plot, self.scrollable_tab4) toolbar.update() toolbar.pack(side=tk.TOP, fill=tk.BOTH, expand=True) def add_sensor_tab(self, sensor, df1, df2): </pre>
--	---

<p>диагностики, позволяет сравнить данные полученные при помощи Многофункционального цифрового комплекса для проведения высокоточных измерений объектов машиностроения. \n\n\nСоздатель программы: Ус Семён Сергеевич\nВерсия: 0.1\nКонтакт: magusus@mail.ru"</p> <pre> messagebox.showinfo("Информация", info_text) class DataComparer: def __init__(self, master): self.master = master master.title("Программа для инклинометрической диагностики опор двигателя внутреннего сгорания") master.geometry("1700x800") master.configure(bg="#808080") style = ttk.Style() style.theme_use("default") style.configure("TNotebook", background="#808080") style.configure("TNotebook.Tab", background="MediumPurple1", foreground="black", padding=[10, 5], font=("Arial", 10, "bold")) style.map("TNotebook.Tab", background=[("selected", "Purple1")], foreground=[("selected", "white")]) </pre>	<pre> self.current_sensor = sensor tab = ttk.Frame(self.notebook) self.notebook.add(tab, text=f"Датчик {sensor}") scroll_canvas = tk.Canvas(tab, bg="#f0f0f0") scrollbar = ttk.Scrollbar(tab, orient="vertical", command=scroll_canvas.yview) scrollable_frame = ttk.Frame(scroll_canvas) scrollable_frame.bind("<Configure>", lambda e: scroll_canvas.configure(scrollregion=scroll_canvas.bbox("all"), yscrollcommand=scrollbar.set)) scroll_canvas.create_window((0, 0), window=scrollable_frame, anchor="nw") scroll_canvas.configure(yscrollcommand=scrollbar.set) scroll_canvas.pack(side="left", fill="both", expand=True) scrollbar.pack(side="right", fill="y") df1 = df1.apply(pd.to_numeric, errors='coerce') df2 = df2.apply(pd.to_numeric, errors='coerce') df1 = df1.apply(lambda col: col - col.iloc[0] if col.name in [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] else col) df2 = df2.apply(lambda col: col - col.iloc[0] if col.name in [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] else col) fig, axes = plt.subplots(3, 1, figsize=(17, 20)) fig.subplots_adjust(left=0.05, top=0.93, bottom=0.1, hspace=0.3) axes[0].plot(df1.index, df1[3], label="Эталон X", color="red", marker='o') axes[0].plot(df1.index, df1[4], label="Эталон Y", color="green", marker='o') axes[0].plot(df1.index, df1[5], label="Эталон Z", color="blue", marker='o') axes[0].plot(df2.index, df2[3], label="Рабочий X", color="red", linestyle="--", marker='x') axes[0].plot(df2.index, df2[4], label="Рабочий Y", color="green", linestyle="--", marker='x') axes[0].plot(df2.index, df2[5], label="Рабочий Z", color="blue", linestyle="--", marker='x') axes[0].set_title("Угловое ускорение") </pre>
---	---

Рисунок 4.2- Часть исходного кода «Программы для комплекса безразборной вибрационной диагностики ВИБРУМ»

Таким образом в рамках исследования модернизировано оригинальное программное обеспечение диагностических датчиков и разработано авторское программное обеспечение для комплекса ЦИКБД, предназначенное для осуществления рабочих функций в режиме приборно-диагностического комплекса промышленной направленности с расширенными техническими

характеристиками, что позволит использовать его для выполнения операций безразборной диагностики и определения необходимых параметров объекта исследования в движении, без снятия с эксплуатации.

4.2 Результаты эксперимента по диагностированию опор двигателя колёсного трактора NewHolland T9.505. с применением ЦИКБД

Графики составлены при помощи разработанного авторского программного обеспечения, запись данных в первом варианте исследования происходила при оборотах от 1200 с повышением до 2000 об/мин. Объекты испытаний подготовлены к проведению исследований, рисунок 4.3, 4.4.



Рисунок 4.3 - Объекты диагностирования



Рисунок 4.4 - Фрагмент проведения диагностирования

Фрагменты калибровки и установки диагностических датчиков при проведении производственных испытаний показаны на рисунке 4.5-4.7

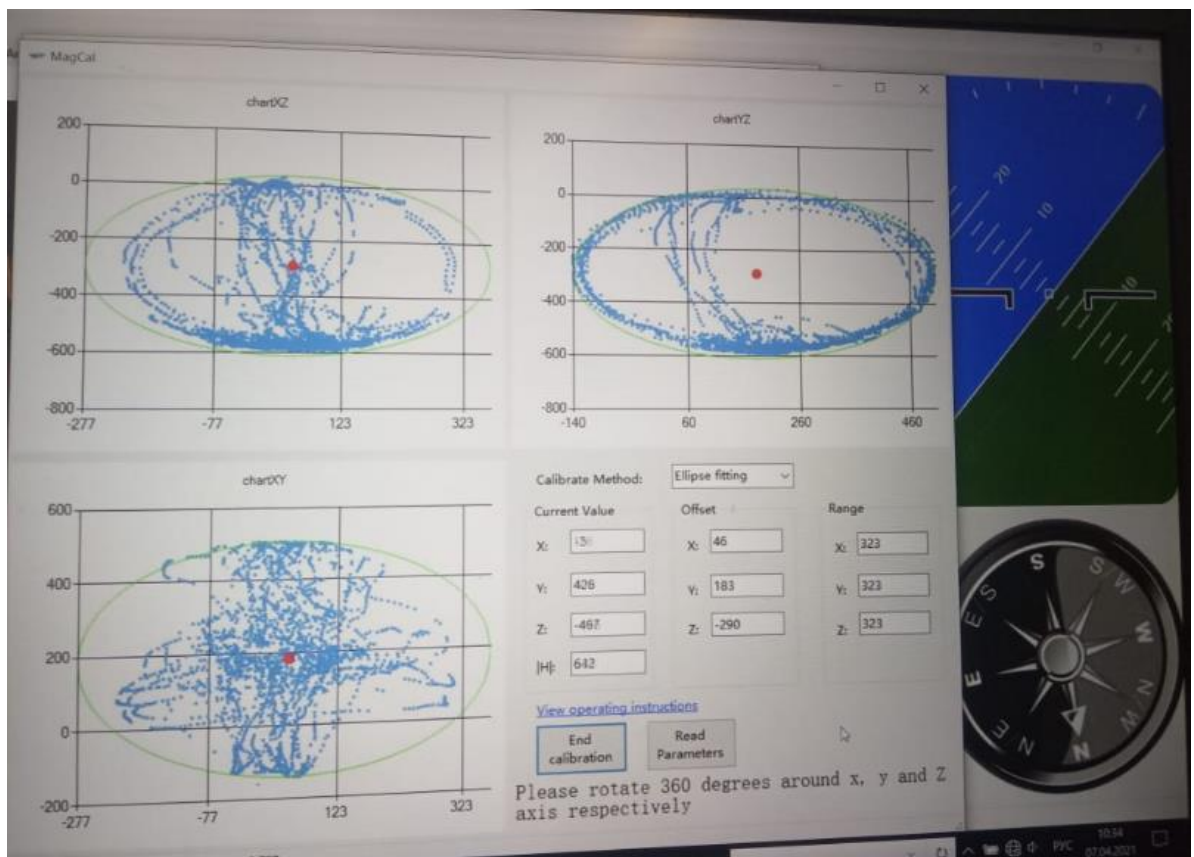


Рисунок 4.5 - Фрагмент калибровки диагностических датчиков

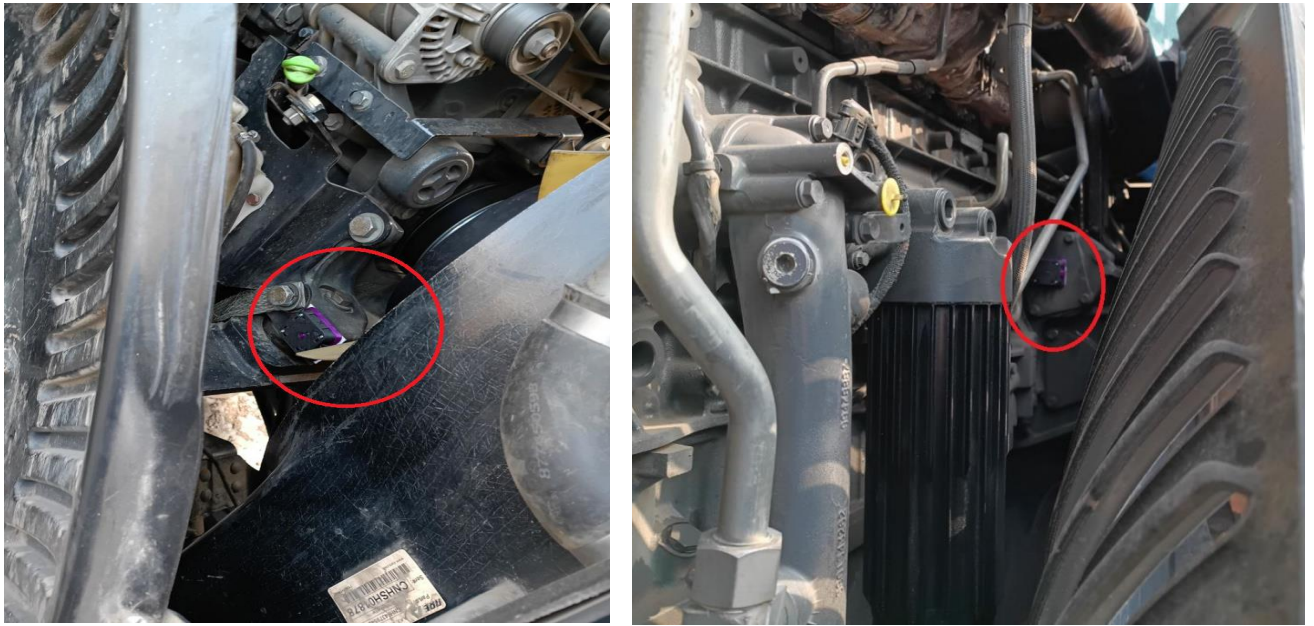


Рисунок 4.6 - Фрагмент снятия параметров диагностических датчиков

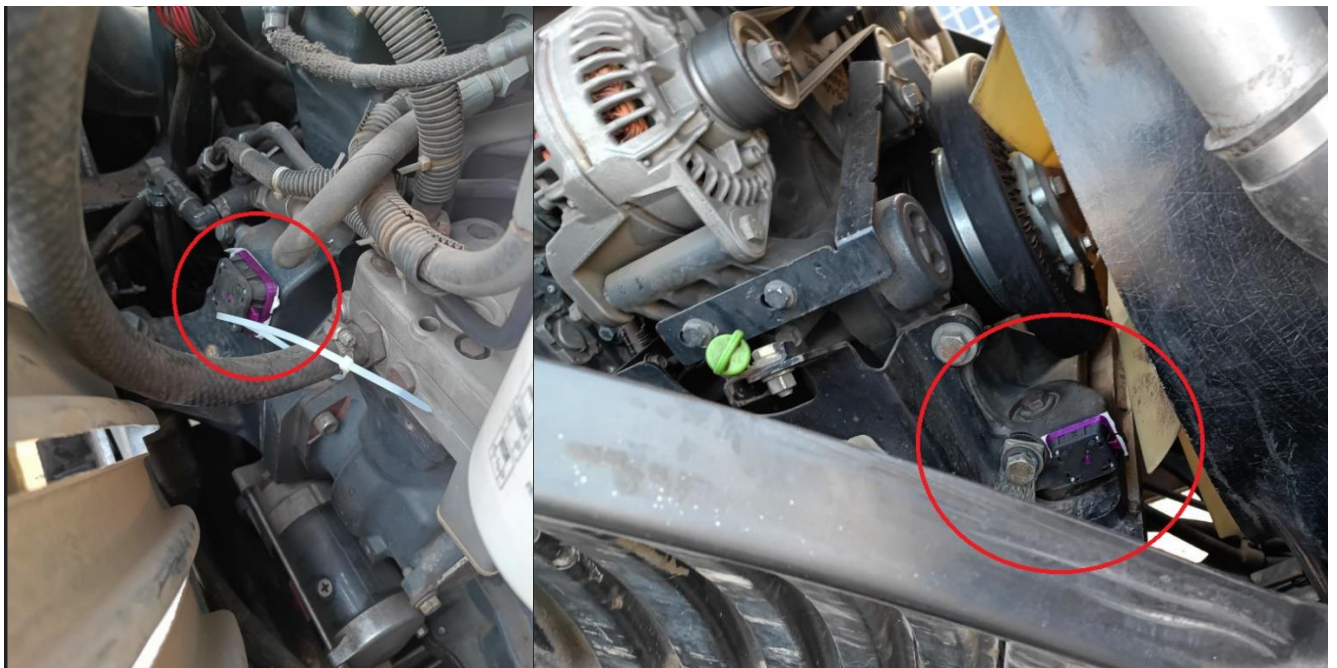


Рисунок 4.7 - Фрагмент снятия параметров диагностических датчиков

Сравнительные графики сравниваемого образца с гос. номером 2321 и с гос. номером 0711.

Точка(датчик) 1 – WT1(FB:A9:BC:68:76:96)

Точка(датчик) 2 – WT2(E7:0C:F3:06:67:8F)

Точка(датчик) 3 – WT3(ED:06:EE:9C:33:44)

Графические изображения полученных параметров представлены на рисунке 4.8-4.12 [157].

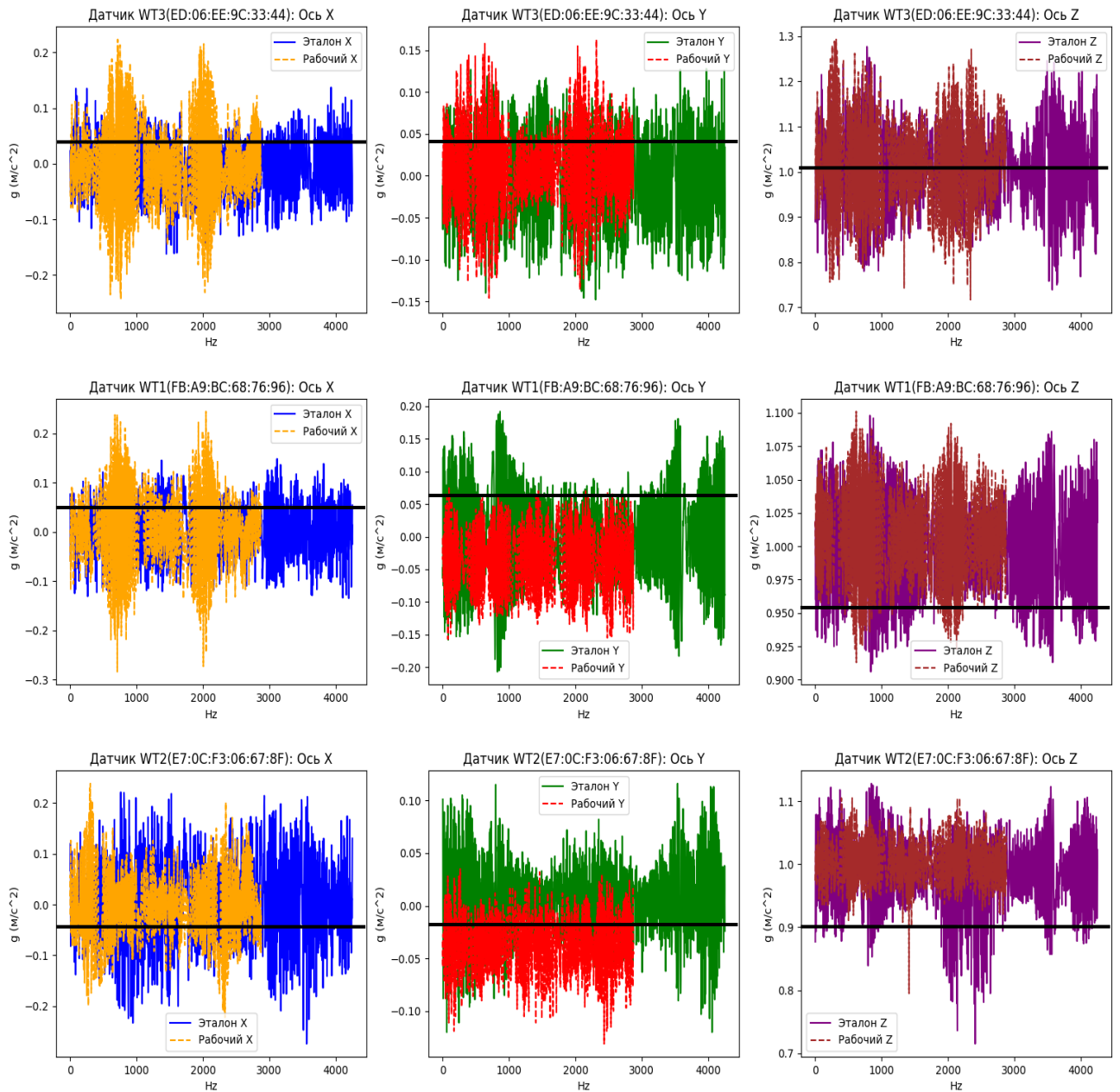


Рисунок 4.8 – Угловое ускорение всех датчиков по трём осям

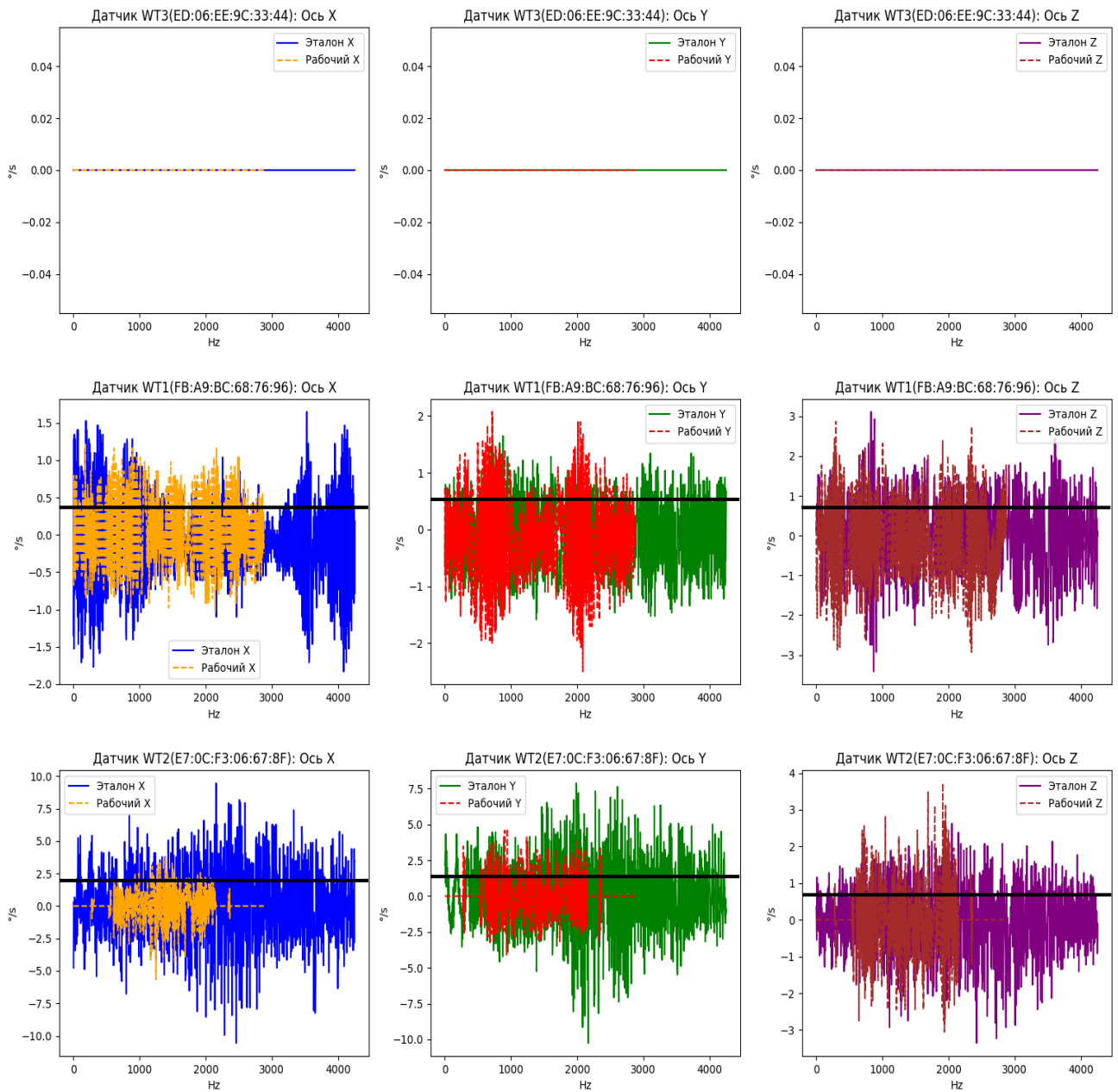


Рисунок 4.9 – Угловая скорость всех датчиком по трём осям кватерниона

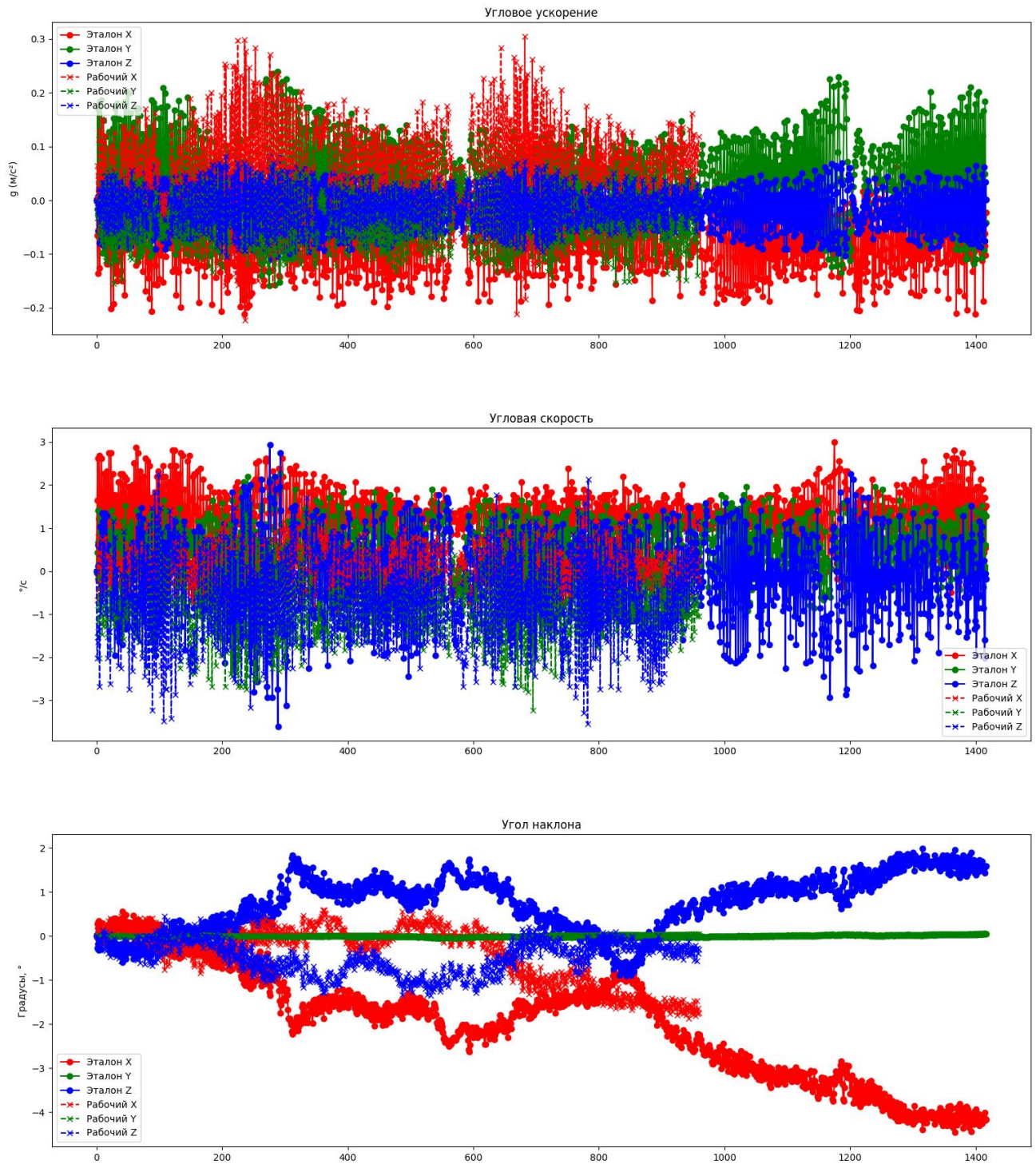


Рисунок 4.10 – Сравнительные графики датчика в точке 1

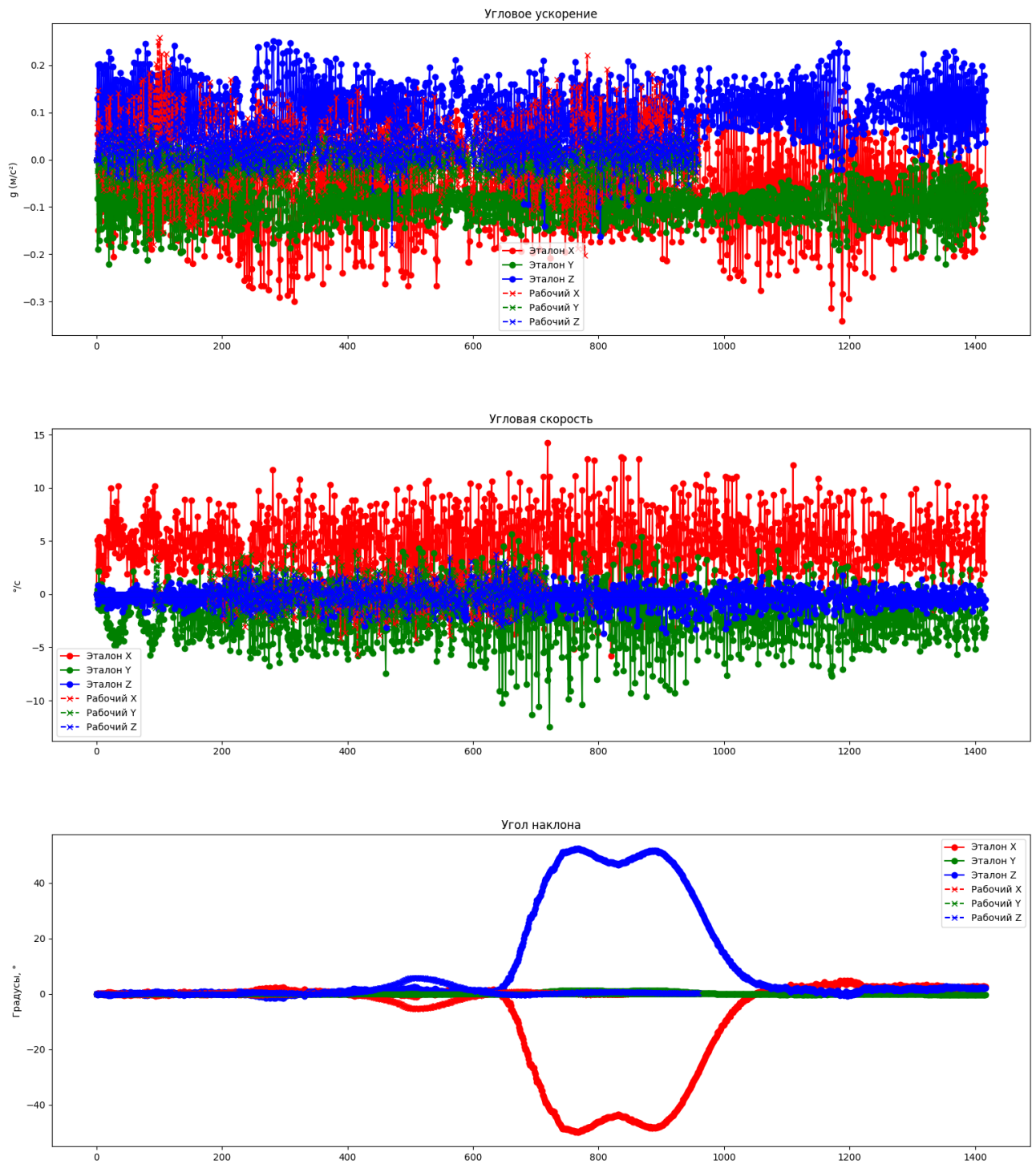


Рисунок 4.11 – Сравнительные графики датчика в точке 2

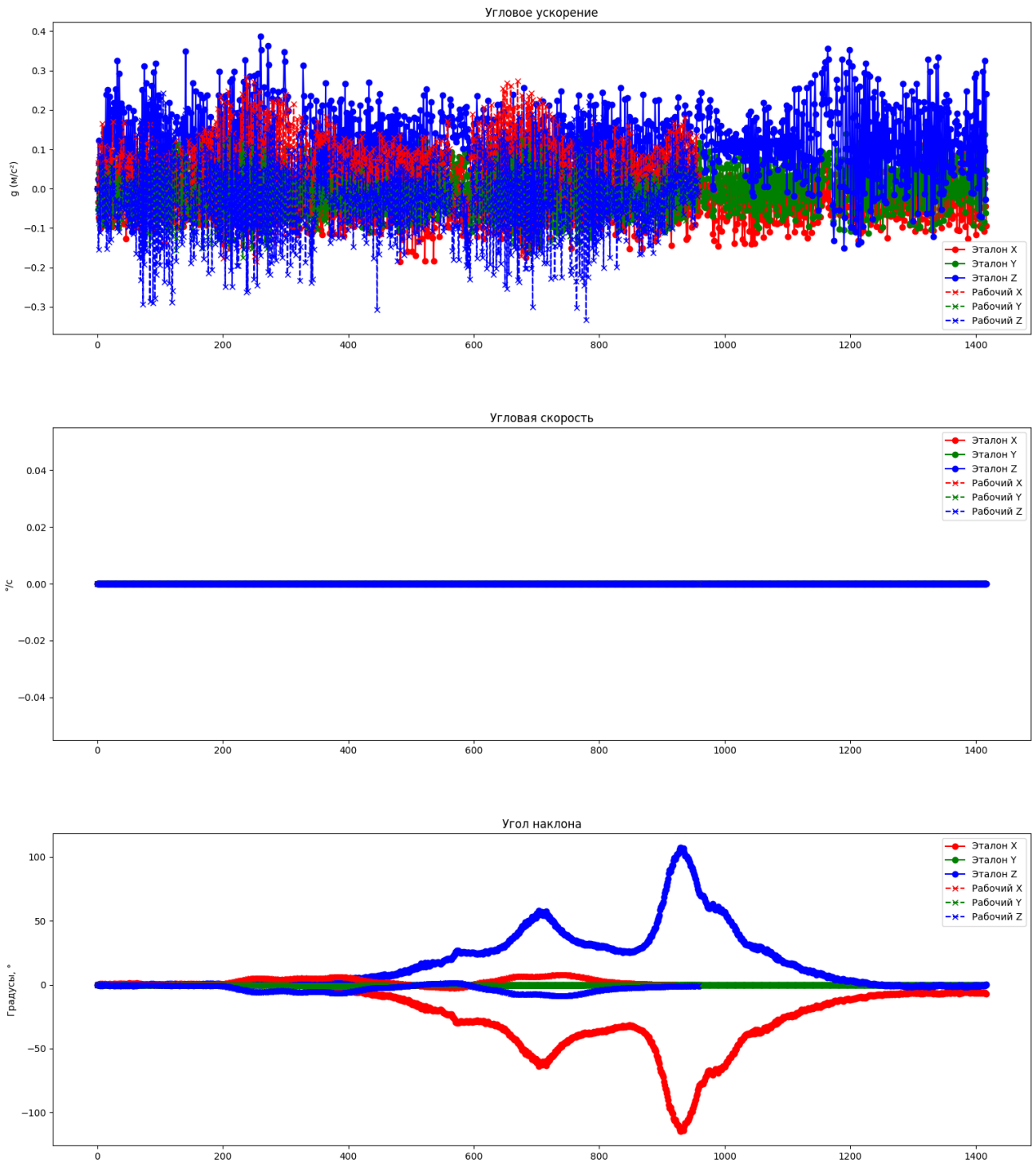


Рисунок 4.12 – Сравнительные графики датчика в точке 3

Обработка результатов комплексом ЦИКБД позволила получить следующие рекомендации для объекта исследований с гос. номером 0711, рисунок 4.13.

Программа для инклинометрической диагностики опор двигателя внутреннего сгорания

Информация

Выбор файлов | **Рекомендации** | Угловое ускорение | Угловая скорость | Датчик WT1(FB:A9:BC:68:76:96) | Датчик WT3(ED:06:EE:9C:33:44) | Датчик WT2(E7:0C:F3:06:67:8F)

Сводка данных по датчикам

Название датчика	Угловое ускорение	Угловая скорость	Рекомендации
WT1(FB:A9:BC:68:76:96)	Эталон: X=0.045, Y=0.059, Z=0.998 Рабочий: X=0.064, Y=0.049, Z=1.009 Коэффициенты: X=1.417, Y=0.823, Z=1.012	Эталон: X=0.417, Y=0.489, Z=0.736 Рабочий: X=0.370, Y=0.585, Z=0.842 Коэффициенты: X=0.886, Y=1.196, Z=1.144	Диапазон коэффициента от 1,05 до 1,10 (требуется внимания): Легкое отклонение от нормы. Проверьте общее состояние опор ДВС, креплений и состояние узлов. Рекомендуется ранняя диагностика.
WT2(E7:0C:F3:06:67:8F)	Эталон: X=0.070, Y=0.030, Z=0.983 Рабочий: X=0.056, Y=0.039, Z=1.003 Коэффициенты: X=0.801, Y=1.298, Z=1.021	Эталон: X=2.117, Y=1.889, Z=0.678 Рабочий: X=0.582, Y=0.670, Z=0.478 Коэффициенты: X=0.275, Y=0.355, Z=0.705	Диапазон коэффициента от 1,00 до 1,05 (условный верхний предел нормы): Коэффициент вибрационной нагрузки в пределах нормы. Значения углового ускорения находятся в допустимом диапазоне.
WT3(ED:06:EE:9C:33:44)	Эталон: X=0.040, Y=0.046, Z=1.001 Рабочий: X=0.061, Y=0.041, Z=1.016 Коэффициенты: X=1.529, Y=0.904, Z=1.015	Эталон: X=0.000, Y=0.000, Z=0.000 Рабочий: X=0.000, Y=0.000, Z=0.000 Коэффициенты: X=1.000, Y=1.000, Z=1.000	Диапазон коэффициента от 1,10 до 1,15 (критический уровень): Повышенный коэффициент вибрации! Соблюдайте осторожность. Проведите диагностику и устраните аномалии.

Рисунок 4.13 – Рекомендации авторского программного обеспечения

Рекомендации программного обеспечения говорят о следующем:

Точка(датчик) 1 – WT1(FB:A9:BC:68:76:96) – Диапазон коэффициента от 1,05 до 1,10 (требуется внимания): Легкое отклонение от нормы. Проверьте общее состояние опор ДВС, креплений и состояние узлов. Рекомендуется ранняя диагностика.

Точка(датчик) 2 – WT2(E7:0C:F3:06:67:8F) – Диапазон коэффициента от 1,00 до 1,05 (условный верхний предел нормы): Коэффициент вибрационной нагрузки в пределах нормы. Значения углового ускорения находятся в допустимом диапазоне.

Точка(датчик) 3 – WT3(ED:06:EE:9C:33:44) – Диапазон коэффициента от 1,10 до 1,15 (критический уровень): Повышенный коэффициент вибрации! Соблюдайте осторожность. Проведите диагностику и устраните аномалии.

Визуальное отображение приведено в виде диаграммы на рисунке 4.32.

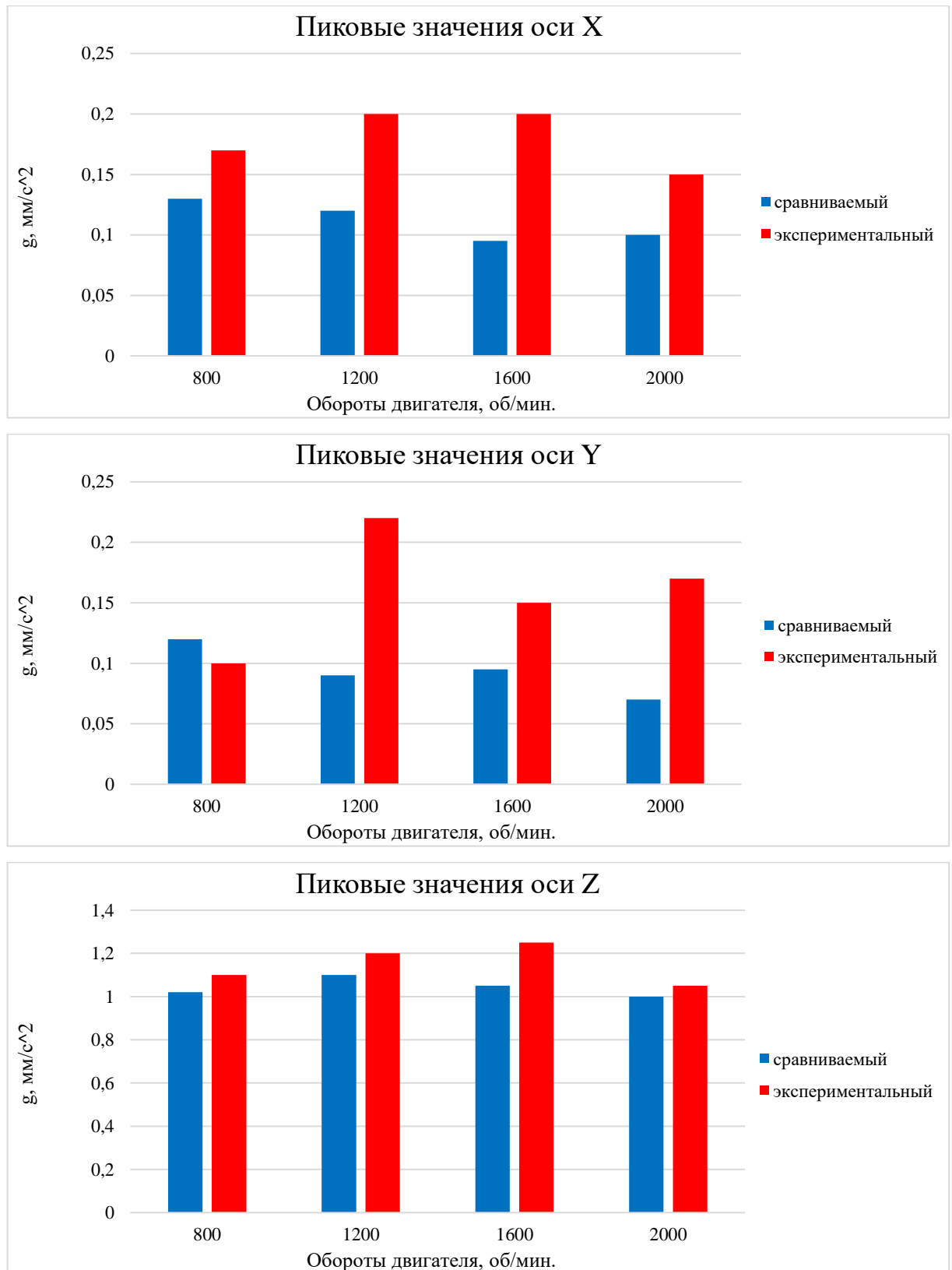


Рисунок 4.14 – Средние пиковые значение углового ускорения всех датчиков по трём осям

Максимальное значение углового ускорения наблюдается по оси Z всех датчиков, что может свидетельствовать о вращательном характере движения

двигателя на опорах. Общая нагрузка согласно показаний датчиков не превышает заявленные ГОСТом значения, но в то же время позволяет судить о полной работоспособности программного обеспечения и его рекомендациях для оператора диагноста.

Проведённые полевые исследования ЦИКБД при использовании способа инклинометрической диагностики опор двигателя подтвердили работоспособность предлагаемого комплекса и возможность применения алгоритмики способа для диагностики опор двигателя для проведения мониторинга технического состояния трактора.

Полученные данные так же позволили определить значение искомым коэффициентов $K_{xас}$, $K_{уас}$, $K_{zас}$, в следующих величинах, рисунок 4.15 – 4.17.

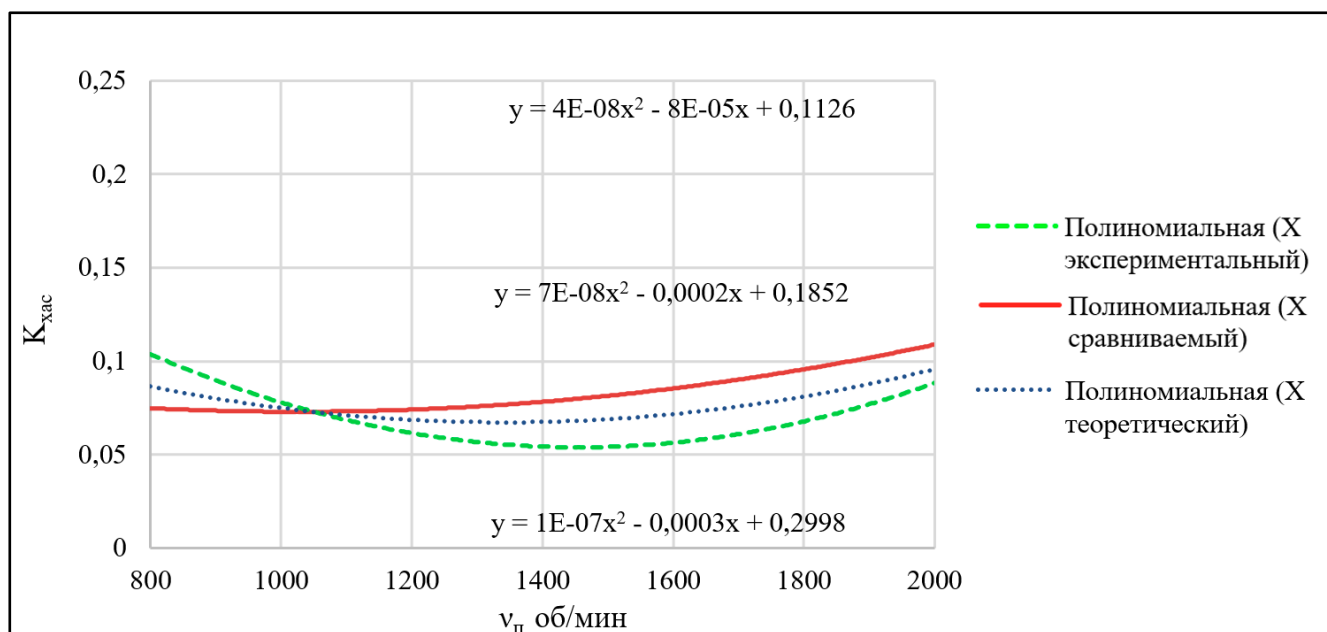


Рисунок 4.15 – Экспериментальные показатели коэффициента $K_{xас}$ для оси X

Полученные значения $K_{xас}$ для оси X могут быть описаны полиномиальными уравнениями:

Для сравнимого объекта

$$y = 4E - 08x^2 - 8E - 05x + 0,1126 .$$

Для экспериментального объекта

$$y = 1E - 07x^2 - 0,0003x + 0,2998 .$$

Находятся в пределах от 0,052 до 0,105, в зависимости от оборотов двигателя.

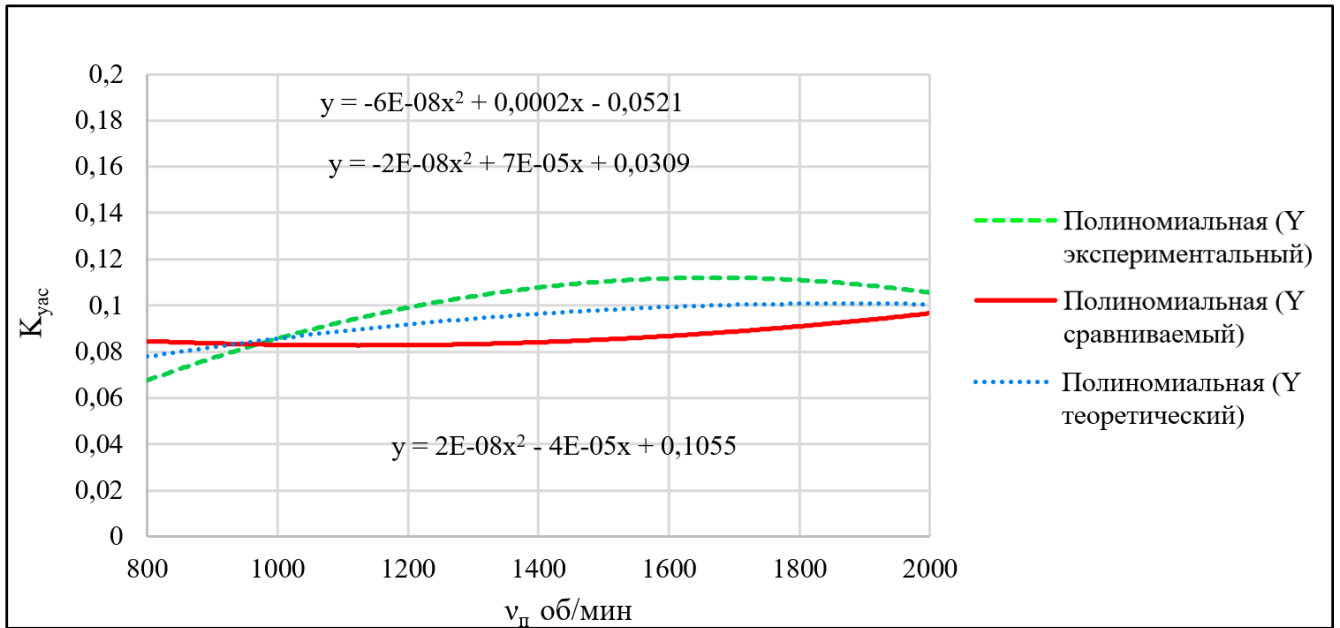


Рисунок 4.16 - Экспериментальные показатели коэффициента $K_{уас}$ для оси Y

Полученные значения $K_{уас}$ для оси Y могут быть описаны полиномиальными уравнениями:

Для сравнимого объекта

$$y = 2E - 08x^2 - 4E - 05x + 0,1055 .$$

Для экспериментального объекта

$$y = -6E - 08x^2 + 0,0002x - 0,0521 .$$

Находятся в пределах от 0,069 до 0,112, в зависимости от оборотов двигателя.

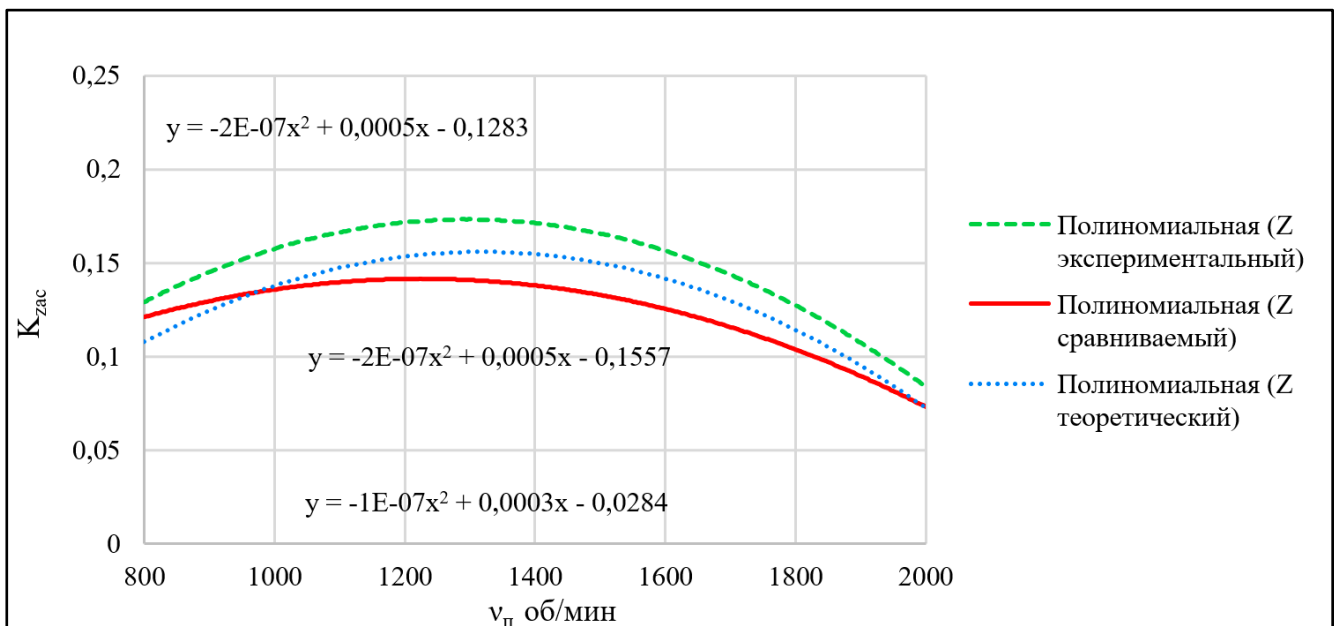


Рисунок 4.17 - Экспериментальные показатели коэффициента $K_{зас}$ для оси Z

Полученные значения K_{zac} для оси Z могут быть описаны полиномиальными уравнениями:

Для сравниваемого объекта

$$y = -1E - 07x^2 + 0,0003x - 0,0284 .$$

Для экспериментального объекта

$$y = -2E - 07x^2 + 0,0005x - 0,1283 .$$

Находятся в пределах от 0,127 до 0,175, в зависимости от оборотов двигателя.

Таким образом, полученные данные подтверждают теоретические исследования, находятся в пределах коридора адекватности и указывают, что наиболее рациональным проверочно-диагностическим режимом являются обороты двигателя от 800 до 1800 об/мин.

4.3 Сравнительный анализ экспериментальных диагностических показателей

Стандартные методы математического анализа в их классическом виде имеют ограниченную применимость при оценке точности измерения вибрационных характеристик и углового ускорения в частности. Это обусловлено тем, что исследуемый сигнал и сам объект измерения не удовлетворяют ряду базовых предпосылок, на которых основаны традиционные методы анализа.

Прежде всего, сигнал углового ускорения ДВС не может быть корректно представлен как гладкая, стационарная и регулярно изменяющаяся функция времени. В рамках же классического математического анализа, как правило, предполагается регулярность исследуемой функции, обеспечивающая возможность её устойчивого дифференцирования, локальной аппроксимации, усреднения на фиксированных временных интервалах, а также применения стандартных процедур оценки погрешностей.

В условиях реального функционирования двигателя формирование сигнала углового ускорения носит существенно нестационарный, импульсный и даже случайный характер. Его структура определяется совокупным воздействием

периодических и случайных факторов, к числу которых относятся рабочие такты цилиндров, процессы сгорания топливовоздушной смеси, компрессионные явления, механические зазоры, крутильные колебания элементов кривошипно-шатунного механизма, неравномерность протекания рабочего процесса, а также резонансные эффекты. Вклад указанных факторов изменяется не только в зависимости от режима работы двигателя, но и от цикла к циклу, что приводит к существенным изменениям формы и уровня сигнала от цикла к циклу.

4.3.1 Сравнительный анализ параметров углового ускорения сравниваемого объекта диагностирования

Для обработки результатов проведения диагностирования использовалась методика многофакторного эксперимента.

Для определения точности определения вибрационной нагрузки при помощи цифрового инклинометрического комплекса безразборной диагностики определены основные факторы, влияющие на критерии оптимизации изучаемого процесса, а также уровни их варьирования.

Основными независимыми факторами были выбраны $x_1 - n$ - обороты двигателя, об/мин. и $x_2 - t$ - время, с. Результирующей функцией выбрана $Y_1, Y_2, Y_3 - g$ - угловое ускорение по трём осям соответственно X, Y и Z, м/с².

Таблица 4.1 - Факторы и уровни их варьирования

Факторы	(n), об/мин.	(t), с.	g_x , м/с ²	g_y , м/с ²	g_z , м/с ²
Обозначение	X_1	X_2	Y_1	Y_2	Y_3
Верхний уровень (+1)	2000	80	0,1	0,07	1,0
Основной уровень (0)	1600	40	0,04	0,08	1,0
Нижний уровень (-1)	1200	0	0,1	0,11	1,02

Для нахождения коэффициентов полинома использовался ортогональный центрально-композиционный план второго порядка - (таблица 4.2).

Для модели второго порядка используем регрессию:

$$Y(X_1, X_2) = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 \quad (4.1)$$

Таблица 4.2 - Матрица ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка и результаты экспериментов

№	X_1	X_2	X_1X_2	X_1^2	X_2^2	Y_1	Y_2	Y_3
1	-1,00	-1,00	1,0000	1,0000	1,0000	0,1	0,11	1,02
2	-1,00	-0,625	0,6250	1,0000	0,3906	0,07	0,057	0,97
3	-0,75	-0,25	0,1875	0,5625	0,0625	0,12	0,09	1,1
4	-0,50	-0,25	0,1250	0,2500	0,0625	0,02	0,048	1,02
5	-0,25	0,125	-0,03125	0,0625	0,0156	0,04	0,08	1
6	0,00	0,50	0	0	0,2500	0,095	0,095	1,05
7	0,25	0,625	0,15625	0,0625	0,3906	0,01	0,03	0,8
8	0,50	0,50	0,2500	0,2500	0,2500	0,08	0,065	0,95
9	0,75	1,00	0,7500	0,5625	1,0000	0,095	0,068	0,89
10	1,00	1,00	1,0000	1,0000	1,0000	0,1	0,07	1

Уравнения регрессии второго порядка

По методу наименьших квадратов получаем следующие уравнения:

Для $Y_1 = g_x$

$$Y_1 = 0,09763 - 0,07303X_1 + 0,01732X_2 + 0,01563X_1X_2 + 0,06674X_1^2 + 0,00618X_2^2 \quad (4.2)$$

Для $Y_2 = g_y$

$$Y_1 = 0,08852 - 0,06013X_1 + 0,02287X_2 + 0,02324X_1X_2 + 0,02124X_1^2 - 0,00301X_2^2 \quad (4.3)$$

Для $Y_3 = g_z$

$$Y_1 = 1,14083 - 0,13870X_1 + 0,05492X_2 + 0,04437X_1X_2 + 0,03439X_1^2 - 0,02958X_2^2 \quad (4.5)$$

Таблица 4.3 - Расчёт дисперсии адекватности для Y_1

№ опыта	Y_1		
	y_u	\hat{y}_u	$y_u - \hat{y}_u$
1	0,100	0,1008	-0,0008
2	0,070	0,0667	0,0033
3	0,120	0,1237	-0,0037
4	0,020	0,0242	-0,0042
5	0,040	0,0259	0,0141
6	0,095	0,1080	-0,0130
7	0,010	0,0355	-0,0255
8	0,080	0,0712	0,0088
9	0,095	0,0890	0,0060
10	0,100	0,1300	-0,0300

Сумма квадратов остатков:

$$SSE_{Y_1} = 0,002236$$

Таблица 4.4 - Расчёт дисперсии адекватности для Y_2

№ опыта	Y_2		
	y_u	\hat{y}_u	$y_u - \hat{y}_u$
1	0,110	0,1105	-0,0005
2	0,057	0,0549	0,0021
3	0,090	0,0924	-0,0024
4	0,048	0,0484	-0,0004
5	0,080	0,0716	0,0084
6	0,095	0,1042	-0,0092
7	0,030	0,0521	-0,0221
8	0,065	0,0638	0,0012
9	0,068	0,0674	0,0006
10	0,070	0,0701	-0,0001

Сумма квадратов остатков:

$$SSE_{Y_2} = 0,000659$$

Таблица 4.5 - Расчёт дисперсии адекватности для Y_3

№ опыта	Y_3		
	y_u	\hat{y}_u	$y_u - \hat{y}_u$
1	1,02	1,0122	0,0078
2	0,97	0,9962	-0,0262
3	1,10	1,0895	0,0105
4	1,02	1,0255	-0,0055
5	1,0	0,981	0,019
6	1,05	1,0409	0,0091
7	0,8	0,7854	0,0146
8	0,95	0,9758	-0,0258
9	0,89	0,8930	-0,003
10	1,0	1,0005	-0,0005

Сумма квадратов остатков:

$$SSE_{Y_3} = 0,002113$$

Таблица 4.6 - Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке (Y_1)

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента	
	Численное значение	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$
b0	0,09763	4,13
b1	-0,07303	3,09
b2	0,01732	0,73
b12	0,01563	0,66
b11	0,06674	2,82
b22	0,00618	0,26

Из таблицы 4.6 видно, что значимыми коэффициентами являются: b0, b1, b11

Уравнение регрессии в кодированном виде будут выглядеть следующим образом:

$$Y_1 = 0,09763 + 0,07303x_1 + 0,06674x_1^2$$

Таблица 4.7 - Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке (Y2)

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента	
	Численное значение	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$
b0	0,08852	6,89
b1	-0,06013	4,68
b2	0,02287	1,78
b12	0,02324	1,81
b11	0,02124	1,65
b22	-0,00301	0,23

Из таблицы 4.7 видно, что значимыми коэффициентами являются: b0, b1

Уравнение регрессии в кодированном виде будут выглядеть следующим образом:

$$Y_2 = 0,08852 + 0,06013x_1$$

Таблица 4.8 - Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке (Y3)

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента	
	Численное значение	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$
b0	1,14083	49,64
b1	-0,13870	6,04
b2	0,05492	2,39
b12	0,04437	1,93
b11	0,03439	1,5
b22	-0,02958	1,29

Из таблицы 4.8 видно, что значимыми коэффициентами являются: b0, b1

Уравнение регрессии в кодированном виде будут выглядеть следующим образом:

$$Y_3 = 1,14083 + 0,13870x_1$$

Получены следующие дисперсии адекватности:

$$S_{ад,1}^2 = 0,000559$$

$$S_{ад,2}^2 = 0,000165$$

$$S_{ад,3}^2 = 0,000528$$

Полученные значения дисперсий адекватности составили: для g_x - 0,0005590, для g_y - 0,000165, для g_z - 0,000528. Проверка коэффициентов по критерию Стьюдента в строгом виде затруднена из-за отсутствия параллельных опытов, поэтому использована приближённая оценка по остаточной дисперсии модели. В результате установлено, что для отклика g_x значимыми являются коэффициенты b_0, b_1, b_{11} , а для откликов g_y и g_z - коэффициенты b_0, b_1 . Это показывает, что наибольшее влияние на отклики оказывает фактор частоты вращения n .

4.3.2 Сравнительный анализ параметров углового ускорения экспериментального объекта диагностирования

Основными независимыми факторами были выбраны $x_1 - n$ - обороты двигателя, об/мин. и $x_2 - t$ - время, с. Результирующей функцией выбрана $Y_1, Y_2, Y_3 - g$ - угловое ускорение по трём осям соответственно X, Y и Z, м/с².

Таблица 4.9 - Факторы и уровни их варьирования

Факторы	(n), об/мин.	(t), с.	g_x , м/с ²	g_y , м/с ²	g_z , м/с ²
Обозначение	X_1	X_3	Y_1	Y_2	Y_3
Верхний уровень (+1)	2000	80	0,15	0,17	1,05
Основной уровень (0)	1600	40	0,03	0,12	1,06
Нижний уровень (-1)	1200	0	0,02	0,06	1,03

Для нахождения коэффициентов полинома использовался ортогональный центрально-композиционный план второго порядка - (таблица 4.10).

Для модели второго порядка используем регрессию:

$$Y(X_1, X_2) = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 \quad (4.6)$$

Таблица 4.10 - Матрица ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка и результаты экспериментов

№	X_1	X_2	X_1X_2	X_1^2	X_2^2	Y_1	Y_2	Y_3
1	-1.00	-1.000	1.0000	1.0000	1.0000	0,16	0,11	1,15
2	-1.00	-0.775	0.7750	1.0000	0.6006	0,2	0,22	1,2
3	-0.75	-0.550	0.4125	0.5625	0.3025	0,09	0,12	1,25
4	-0.50	-0.325	0.1625	0.2500	0.1056	0,12	0,03	1,16
5	-0.25	-0.100	0.0250	0.0625	0.0100	0,18	0,23	1,3
6	0.00	0.125	0.0000	0.0000	0.0156	0,2	0,15	1,25
7	0.25	0.325	0.0813	0.0625	0.1056	0,16	0,18	1,32
8	0.50	0.550	0.2750	0.2500	0.3025	0,05	0,16	1,07
9	0.75	0.775	0.5813	0.5625	0.6006	0,12	0,12	1,09
10	1.00	1.000	1.0000	1.0000	1.0000	0,15	0,17	1,05

Уравнения регрессии второго порядка

По методу наименьших квадратов получаем следующие уравнения:

Для $Y_1 = g_x$

$$Y_1 = 0,19122 + 0,00047X_1 - 0,05977X_2 - 0,18341X_1X_2 - 0,08552X_1^2 + 0,11744X_2^2 \quad (4.7)$$

Для $Y_2 = g_y$

$$Y_1 = 0,12958 - 0,10900X_1 + 0,00484X_2 + 0,16141X_1X_2 - 0,05159X_1^2 - 0,01844X_2^2 \quad (4.8)$$

Для $Y_3 = g_z$

$$Y_1 = 1,26637 + 0,17912X_1 - 0,13744X_2 - 0,34122X_1X_2 - 0,19825X_1^2 - 0,11794X_2^2 \quad (4.9)$$

Таблица 4.11 - Расчёт дисперсии адекватности для Y_1

№ опыта	Y_1		
	y_u	\hat{y}_u	$y_u - \hat{y}_u$
1	0,16	0,1642	-0,0042
2	0,20	0,1948	0,0052
3	0,09	0,1148	-0,0248
4	0,12	0,1076	0,0124
5	0,18	0,1616	0,0184
6	0,20	0,1856	0,0144
7	0,16	0,1733	-0,0133
8	0,05	0,1263	-0,0763
9	0,12	0,0979	0,0221
10	0,15	0,1800	-0,0300

Сумма квадратов остатков:

$$SSE_{Y_1} = 0,008998$$

Таблица 4.12 - Расчёт дисперсии адекватности для Y_2

№ опыта	Y_2		
	y_u	\hat{y}_u	$y_u - \hat{y}_u$
1	0,11	0,1073	0,0027
2	0,22	0,2212	-0,0012
3	0,12	0,1188	0,0012
4	0,03	0,0894	-0,0594
5	0,23	0,1643	0,0657
6	0,15	0,1430	0,0070
7	0,18	0,1593	0,0207
8	0,16	0,1771	-0,0171
9	0,12	0,1604	-0,0404
10	0,17	0,1700	0,0000

Сумма квадратов остатков:

$$SSE_{Y_2} = 0,009439$$

Таблица 4.13 - Расчёт дисперсии адекватности для Y_3

№ опыта	Y_3		
	y_u	\hat{y}_u	$y_u - \hat{y}_u$
1	1,15	1,1525	-0,0025
2	1,20	1,1970	0,0030
3	1,25	1,2283	0,0217
4	1,16	1,1695	-0,0095
5	1,30	1,2452	0,0548
6	1,25	1,2795	-0,0295
7	1,32	1,2438	0,0762
8	1,07	1,1086	-0,0386
9	1,09	1,0505	0,0395
10	1,05	1,0505	-0,0005

Сумма квадратов остатков:

$$SSE_{Y_3} = 0,002113$$

Таблица 4.14 - Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке (Y_1)

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента	
	Численное значение	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$
b0	0,19122	4,03
b1	0,00047	0,01
b2	-0,05977	1,26
b12	-0,18341	3,87
b11	-0,08552	1,8
b22	0,11744	2,48

Из таблицы 4.14 видно, что значимыми коэффициентами являются: b0, b12

Уравнение регрессии в кодированном виде будут выглядеть следующим образом:

$$Y_1 = 0,19122 - 0,18341x_1x_2$$

Таблица 4.15 - Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке (Y2)

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента	
	Численное значение	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$
b0	0,12958	2,67
b1	0,10900	2,24
b2	0,00484	0,10
b12	0,16141	3,32
b11	-0,05159	1,06
b22	-0,01844	0,38

Из таблицы 4.15 видно, что значимыми коэффициентами являются: b12

Уравнение регрессии в кодированном виде будет выглядеть следующим образом:

$$Y_2 = 0,16141x_1x_2$$

Таблица 4.16 - Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке (Y3)

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента	
	Численное значение	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$
b0	1,26637	22,86
b1	0,17912	3,23
b2	-0,13744	2,48
b12	-0,34122	6,16
b11	-0,19825	3,58
b22	0,11794	2,13

Из таблицы 4.16 видно, что значимыми коэффициентами являются: b0, b1, b12, b11

Уравнение регрессии в кодированном виде будет выглядеть следующим образом:

$$Y_1 = 1,126637 + 0,17912x_1 - 0,34122x_1x_2 - 0,19825x_1^2$$

Получены следующие дисперсии адекватности:

$$S_{ад,1}^2 = 0,002250$$

$$S_{ад,2}^2 = 0,002360$$

$$S_{ад,3}^2 = 0,003068$$

Полученные значения дисперсий адекватности составили: для g_x -0,002250, для g_y - 0,002360, для g_z - 0,003068. Проверка коэффициентов по критерию Стьюдента в строгом виде затруднена из-за отсутствия параллельных опытов, поэтому использована приближённая оценка по остаточной дисперсии модели. В результате установлено, что для отклика g_x значимыми являются коэффициенты b_0, b_{12} , для откликов g_y коэффициент b_{12} и для g_z коэффициенты b_0, b_1, b_{12}, b_{11} . Это показывает, что наибольшее влияние на отклики оказывает фактор частоты вращения n .

При составлении поверхностей отклика факторами были выбраны $x_1 - n$ - обороты двигателя, об/мин, $x_2 - t$ - время, с.

Результирующей функцией выбрана $Y_1 - g$ - угловое ускорение по трём осям соответственно X, Y и Z, m/c^2 .

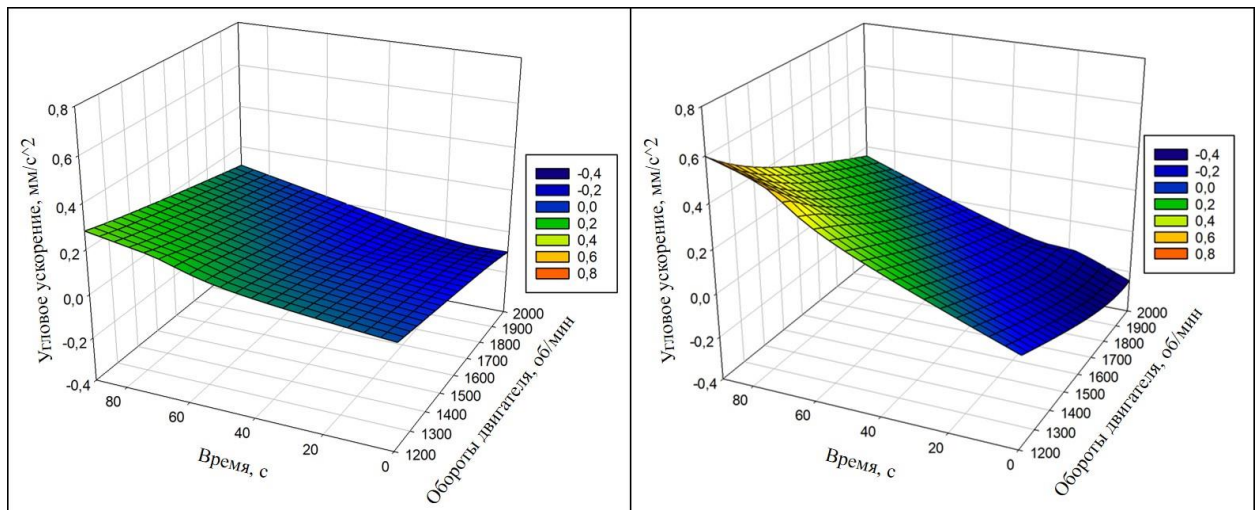


Рисунок 4.18 - Поверхности отклика g (углового ускорения оси X) в зависимости от $X_1 n$ (обороты двигателя) и $X_2 t$ (время), сравниваемого (слева) и экспериментального (справа) объектов диагностирования

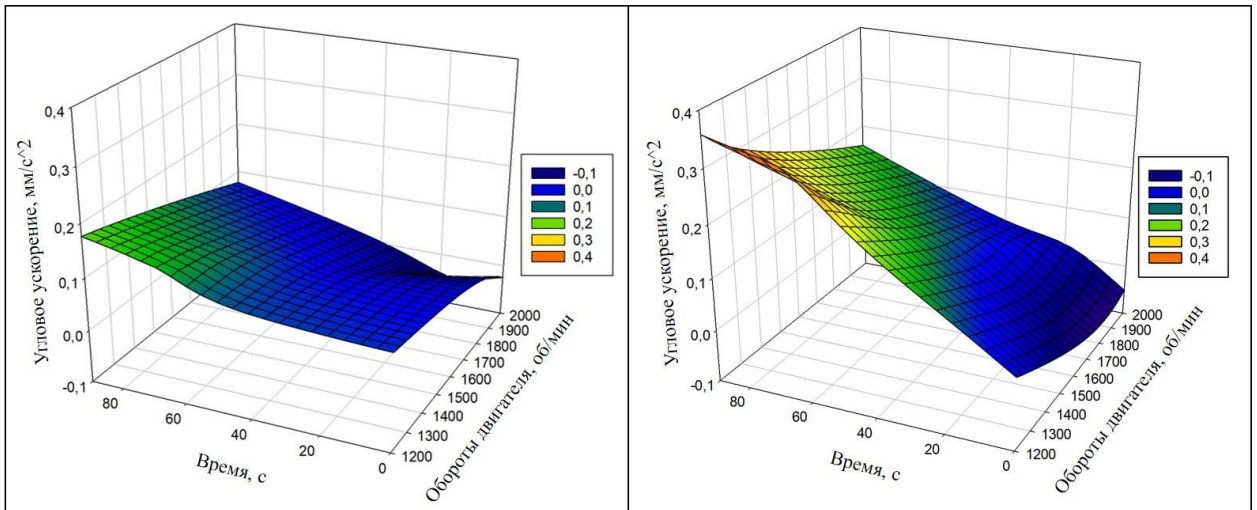


Рисунок 4.19 - Поверхности отклика g (углового ускорения оси Y) в зависимости от $X_1 n$ (обороты двигателя) и $X_2 t$ (время), сравниваемого (слева) и экспериментального (справа) объектов диагностирования

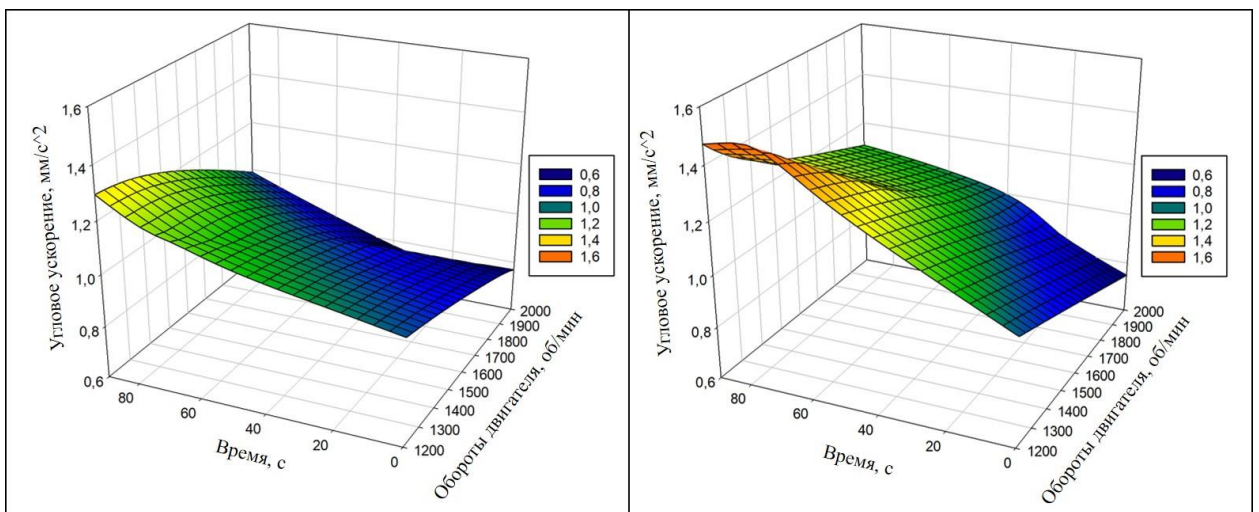


Рисунок 4.20 - Поверхности отклика g (углового ускорения оси Z) в зависимости от $X_1 n$ (обороты двигателя) и $X_2 t$ (время), сравниваемого (слева) и экспериментального (справа) объектов диагностирования

Таким образом получены визуальные отображения оптимальных оборотов двигателя в зависимости от времени.

Поверхность отклика показывает, что угловое ускорение увеличивается с ростом времени и уменьшается с повышением оборотов двигателя. Характер поверхности имеет слабую кривизну, что свидетельствует о наличии нелинейности

при взаимодействии факторов. Наибольшие значения отклика достигаются при максимальном времени и минимальных оборотах двигателя, а наименьшие — при минимальном времени и максимальных оборотах.

Так же поверхности отклика показывают, что оптимальные значения углового ускорения стремятся к 2000 об/мин, что свидетельствует не только о работоспособности опор двигателя, но и об общем работоспособном состоянии ДВС, что так же подтверждается графиками полученными при помощи авторского программного обеспечения, минимальные колебания как раз наблюдаются при оборотах приближенных к максимальным. А при 1400 об/мин и 1800 об в минуту наблюдаются гармонические колебания, с общими минимальными отклонениями в $0,3 \text{ м/с}^2$.

По результатам анализа полученных поверхностей отклика установлено, что наибольшей чувствительностью к вибрационной нагрузке характеризуется ось углового ускорения Z . В связи с этим дальнейшее рассмотрение целесообразно проводить на основе сечения поверхностей отклика по данной оси.

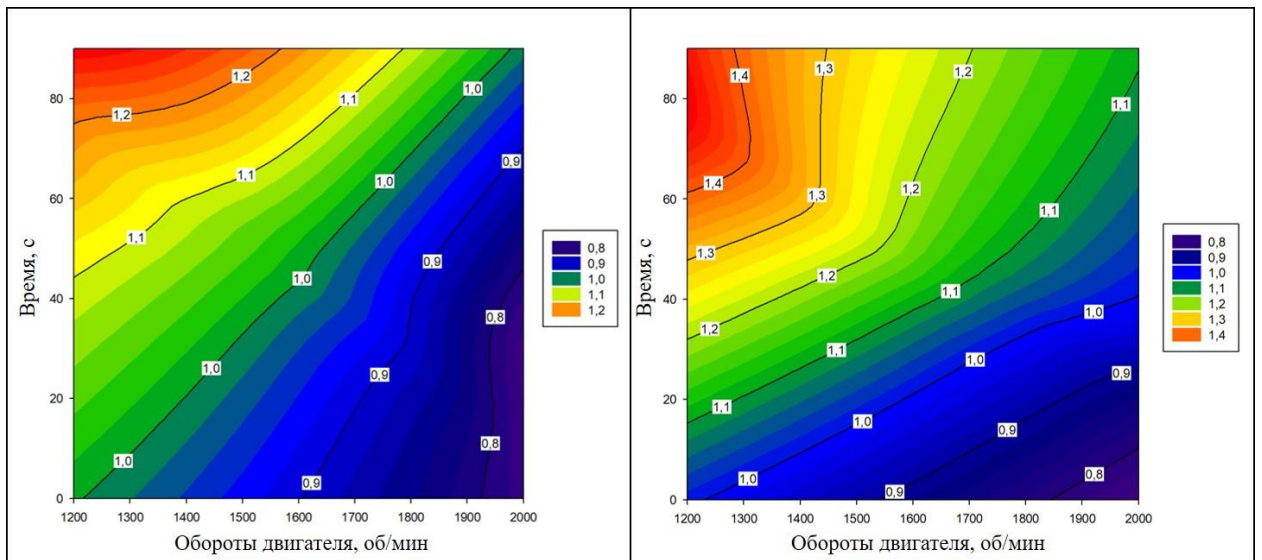


Рисунок 4.21 – Сечение поверхностей g (углового ускорения оси Z) в зависимости от $X_1 n$ (обороты двигателя) и $X_2 t$ (время), сравниваемого (слева) и экспериментального (справа) объектов диагностирования.

Внешний вид сравнительных поверхностей отклика на рисунках 4.18 – 4.20, свидетельствует о лёгком ослаблении крепления опор двигателя. Исходя из

рекомендаций ГОСТ 32108-2013, можно сделать вывод, что расхождения находятся в пределах низкого значения вибрационной нагрузки, что в свою очередь свидетельствует о полной работоспособности подушек двигателя.

Всё вышеописанное свидетельствует о высокой точности измерений разработанного цифрового инклинометрического комплекса безразборной диагностики.

4.4 Изготовление и производственная проверка установочных модулей для приборных датчиков разрабатываемого ЦИКБД

Изготовление новых корпусов и установочных элементов крепления для приборных датчиков разрабатываемого ЦИКБД осуществлялось при помощи аддитивных технологий, методом так называемой 3D печати. Так как инженерным расчётом, приведённом во второй главе диссертации, предусмотрено применение материалов инженерного класса, с учётом повышения общего качества производства, было принято решение о производстве необходимых изделий на принтере с закрытой камерой Bambu Lab X1-Carbon Combo, рисунок 4.22.



Рисунок 4.22 – 3D принтер Bambu Lab X1-Carbon Combo и комплект поставки принтера

Учитывая, что Bambu Lab X1 Carbon оснащён элементами искусственного интеллекта, активной компенсацией вибрации по оси XY, встроенной системой фильтрации воздуха и системой распознавания ошибки печати, этот прибор обладает наиболее приемлемыми характеристиками для наших требований к элементам ЦИКБД [160, 161, 162].

Основным материалом корпусной части установочного элемента приборного комплекса выбран ULTRAN M20 – PA CF (полиамид ПА6, наполненный короткими углеродными волокнами) инженерный высокопрочный конструкционный материал производителя Ateco. Гибкий Пластик TPU-90 от ПК НИТ был заменён на eTPU-95A от производителя ESUN, из-за его более лучших прочностных характеристик и лучшей химической устойчивости.

Общее время печати всех частей одного корпуса установочного элемента составило 3 часа 17 минут. Для подготовки 3D модели к печати использовался фирменный слайсер Bambu Studio версии 2.0.3.54 производителя Bambu Lab.

При этом определённой новизной обладают настройки 3D печати для деталей из ULTRAN M20 – PA CF:

- Температура сопла: 290 °C;
- Температура печатной пластины: 110 °C;
- Скорость печати: 60 мм/с;
- Коэффициент потока модели: 0,88;
- Тип заполнения: гироид;
- Плотность заполнения: 40%;
- Количество периметров стенок: 4 (1,6 мм.);
- Количество линий крышки/дна: 5 (1 мм.);
- Поддержки: выключены;
- Охлаждение: 0%.

Настройки 3D печати для деталей из eTPU-95A:

- Температура сопла: 230 °C;

- Температура печатной пластины: 35 °С;
- Скорость печати: 40 мм/с;
- Тип заполнения: сетка;
- Плотность заполнения: 60%;
- Количество периметров стенок: 3 (1,6 мм.);
- Количество линий крышки/дна: 5 (1 мм.);
- Поддержки: выключены;
- Охлаждение: 70%.

Общая масса одного корпуса установочного элемента составила ранее рассчитанную массу в 42 грамма (15 гр. заглушка, кнопка, прокладка и противоскользящая пятка из eTPU-95A, 27 гр. две части корпуса из ULTRAN M20 – PA CF). Для сборки корпуса использовались 4 болта М3х16 и 4 гайки М3, рисунок 4.23.



Рисунок 4.23 – Изготовленный на 3D принтере и собранный модернизированный корпус установочного элемента приборного комплекса

Настройки 3D печати для деталей из PETG:

- Температура сопла: 255 °С;
- Температура печатной пластины: 70 °С;
- Скорость печати: 250 мм/с;
- Тип заполнения: сетка;
- Плотность заполнения: 30%;
- Количество периметров стенок: 4 (1,6 мм.);
- Количество линий крышки/дна: 5 (1 мм.);
- Поддержки: включены;
- Охлаждение: 30%.

Общая масса кейса для хранения и транспортирования датчиков – 749 грамм (531 гр. основная часть из PETG, 198 гр. эластичные части из eTPU-95A). Для сборки транспортировочного кейса использовались 4 болта М3х40, 2 болта М5х25 и 2 болта М4х40, рисунок 4.24, 4.25.



Рисунок 4.24 – Приборно-диагностический комплекс в сборе



Рисунок 4.25 – Приборно-диагностический комплекс в сборе, вид профильный

Все настройки принтера определены расчётно- экспериментальным методом с учётом повышения прочностных характеристик изготавливаемых элементов на 30% в соотношении с ранее рассчитанными данными.

В процессе изготовления все принятые технические решения были реализованы, что позволило получить наиболее приспособленный к работе в условиях сельского хозяйства приборно-диагностический комплекс, обладающий степенью защиты IP 64 по ГОСТ 14254-2015 «Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP)» (IEC 60529:2013).

Проверка надёжности креплений и рабочих характеристик установочных элементов проводилась на производственной базе ООО «Амурагрокомплекс», Амурская область пробегом трактора в течении 34 км. За объект исследования принимался корпус сепаратора тонкой очистки топлива, рисунок 4.26.

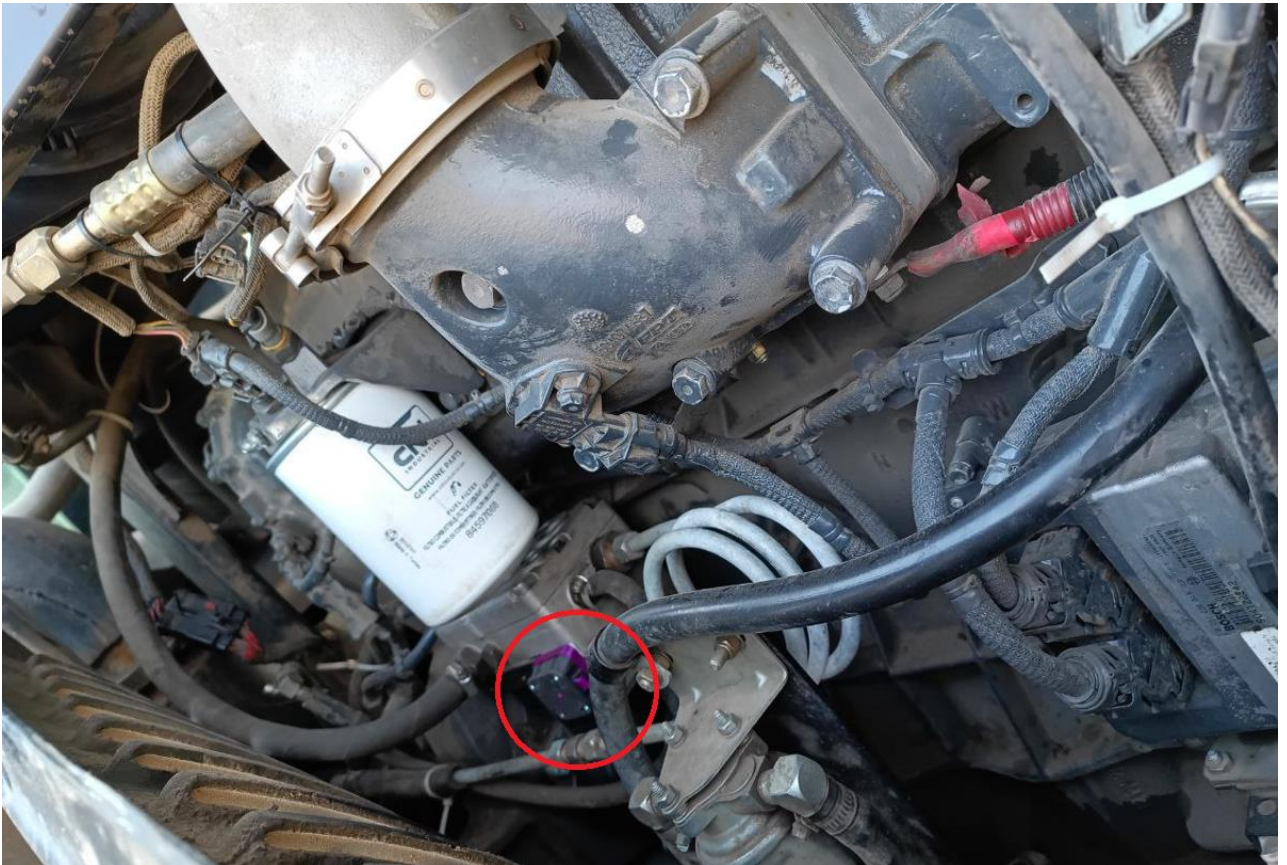


Рисунок 4.26 - Опытная проверка надёжности крепления установочных элементов диагностического датчика ЦИКБД

Учитывая, что на него передаются естественные вибрации от двигателя трактора, внутреннего течения топлива и фильтрующих элементов, а в ходе движения и после испытания пробегом не наблюдалось отслоение креплений, разломы или отделение их частей, конструкция, форма и способ установки признаны соответствующими техническому заданию изготовления установочных модулей для приборных датчиков разрабатываемого ЦИКБД [164, 165, 166, 167].

4.5. Техничко-экономическое обоснование проведённых исследований

4.5.1 Расчёт изготовления установочных модулей для приборных датчиков разрабатываемого ЦИКБД

Себестоимость изготовления корпусов установочных модулей для приборных датчиков и кейса приборного комплекса рассчитывался по формульному аппарату, представленному в главе 2.

При этом время печати рассчитываем с учётом необходимости печати корпусной части для 5 диагностических датчиков.

Для достоверности расчётов правильнее будет часы печати перевести в минуты т. е. 3 часа 17 минут = 197 минут на время изготовления одного корпуса установочных модулей для датчиков.

$$T = 5 \cdot 197 = 985 \text{ мин.} = 16 \text{ часов } 25 \text{ минут (16,42 ч.)}$$

Стоимость печати определяем по формуле:

$$C = T \cdot a_{\text{электр}} \quad (4.10)$$

где, C – общая стоимость печати изделий, руб., $a_{\text{электр}}$ – стоимость 1 кВт электроэнергии, руб. (среднее значение ≈ 7 рублей).

$$C = 16,42 \cdot 7 = 114,94 \text{ руб.}$$

Стоимость пластика можно вычислить по следующему алгоритму:

1 кг. ULTRAN M20 – PA CF = 5556 руб. = 5 руб. 56 коп. за 1 гр.

Общая масса деталей корпуса из ULTRAN M20 – PA CF = 27·5 гр.=135 гр.

$$135 \cdot 5,56 = 750 \text{ руб. } 60 \text{ коп.}$$

1 кг. eTPU-95A = 3439 руб. = 3 руб. 44 коп. за 1 гр.

Общая масса деталей корпуса из eTPU-95A = 5·15 гр. = 75 гр.

$$75 \cdot 3,44 = 258 \text{ руб.}$$

Таким образом затраты на изготовление корпусной части установочных модулей для датчиков приборного комплекса равна

$$114,94 + 750,60 + 258 = 1123,54 \approx 1124 \text{ руб.}$$

Общие затраты на изготовление модернизированного транспортировочного кейса рассчитываются по такому же алгоритму.

$$30 \text{ ч. } 5 \text{ мин.} = 1805 \text{ мин} = 30,085 \text{ ч.}$$

$$C = 30,085 \cdot 7 = 210 \text{ руб. } 56 \text{ коп.} = 210,56 \text{ руб.}$$

1 кг PETG пластика = 1250 рублей = 1 руб. 25 коп. за 1 гр.

Общая стоимость изготовления деталей кейса из PETG

$$531 \text{ гр.} \cdot 1,25 = 663 \text{ руб. } 75 \text{ коп.}$$

1 кг. eTPU-95A = 3439 руб. = 3 руб. 44 коп. за 1 гр.

Общая стоимость изготовления деталей кейса из eTPU-95A

$$198 \text{ гр.} \cdot 3,44 = 681 \text{ руб. } 12 \text{ коп.}$$

Таким образом затраты на изготовление транспортировочного кейса:

$$663,75 + 681,12 + 210,56 = 1555,43 \approx 1556 \text{ руб.}$$

Так же в общие производственные затраты следует добавить покупку болтов и гаек для сборки модернизированных кейса и корпуса датчиков приборного комплекса.

$$4 \text{ болта M3x30} = 16 \text{ руб.}$$

$$2 \text{ болта M4x40} = 15 \text{ руб.}$$

$$2 \text{ болта M5x25} = 14 \text{ руб.}$$

$$20 \text{ болтов M3x16} = 60 \text{ руб.}$$

$$20 \text{ гаек M3} = 40 \text{ руб.}$$

Общие затраты на производство модернизированного кейса для хранения и транспортирования приборно-диагностического комплекса и корпусов, предназначенных для установки датчиков на объекты исследования составляет

$$1124 + 1556 + 16 + 15 + 14 + 60 + 40 = 2825 \text{ руб.}$$

Таким образом общая сумма материальных затрат стоимости ЦИКБД составляет сумму из стоимости диагностических датчиков (5 шт.), стоимости кейса для хранения и транспортирования приборно-диагностического комплекса, корпусов, предназначенных для установки датчиков (5 шт.), стоимости установленного программного обеспечения.

$$C_{\text{цикбд}} = 1700 \cdot 5 + 2825 + 10000 = 21325 \text{ руб.}$$

4.5.2 Расчёт экономической эффективности разрабатываемого ЦИКБД

Расчёт экономической эффективности предлагаемого ЦИКБД проведён в соотношении с действующими аналогами, предназначенными для проведения вибродиагностических исследований, таблица 4.17.

Таблица 4.17- Соотношение стоимости известных аналогов диагностических приборов

Тип прибора	Наименование	Страна производитель	$C_{п.к.}$, руб.
Виброметры	Вибротест-МГ4	Россия	102000
	BC-473-200	Россия	185000
Анализатор вибрации	ВИБРАН-3	Россия	516000
Портативные вибродиагностические системы	VA-12 RION	Япония	166000
	SPM Leonova Diamond	Швеция	688000
Вибродатчики (акселерометры)	АЦТ-90	Россия	53700
	ВД06А	Россия	12700
ЦИКБД		Россия	21325

Таким образом предлагаемый комплекс выгодно отличается в стоимостном выражении от всех известных аналогов, при этом обладает более расширенными техническими характеристиками, высокой мобильностью и точностью.

Известные математические зависимости позволили рассчитать набор показателей, ответственных за проведение диагностических мероприятий- стоимость единичной проверочной операции, время проверки единичной детали и количество проверенных единиц в час для аналогов и предлагаемого ЦИКБД, таблица 4.18.

Таблица 4.18- Сравнительные экономические показатели известных приборов в соотношении с разрабатываемым комплексом

Тип прибора	Наименование	Страна производитель	$T_{\text{пров. Ч.}}$	$C_{\text{ед. оп., руб.}}$	$n_{\text{п.п.}}$	$C_{\text{п.к., руб.}}$	$N_{\text{ед./ч.}}$	$W_{\text{кч}}$	$W_{\text{кс}}$
Виброметры	Вибротест-МГ4	Россия	0,5	1600	2	102000	2	3200	19200
	BC-473-200	Россия	0,5	2150	1	185000	2	4300	25800
Анализатор вибрации	ВИБРАН-3	Россия	0,5	4800	2	516000	2	9600	57600
Портативные вибродиагно- стические системы	VA-12 RION	Япония	0,5	1965	4	166000	2	3930	17685
	SPM Leonova Diamond	Швеция	0,5	5216	2	688000	2	10432	62592
Вибродатчик и (акселерометр ы)	АЦТ-90	Россия	0,5	938	2	53700	2	1876	11256
	ВД06А	Россия	0,8	314	1	12700	2	628	3768
ЦИКБД		Россия	0,25	545	6	21325	4	2180	17440

Расчёт производительности проведён по ранее приведённым формулам (2.39 и 2.40). При этом $T_{\text{об}}$ – коэффициент использования времени рабочей смены (учитывает время на продолжительность обслуживания комплекса, время на отдых и личное время оператора-диагноста, время на подготовительную и заключительную работу, настройку и калибровку комплекса) принят равным 0,75. Показатели рентабельности внедрения ЦИКБД определены исходя из следующего режима производства: продолжительность рабочей смены - 8 часов, 255 рабочих дней в году при односменном режиме работы в сутки для баз централизованного технического обслуживания. Соотношение стоимости единичной операции в процентном выражении с известными приборами представлено в таблице 4.19.

Таблица 4.19 - Соотношение стоимости единичной операции в процентном выражении с известными приборами

Тип прибора	Наименование	$C_{\text{ед.оп.}}$, руб.	$C_{\text{п.к.}}$, руб.	Соотношение стоимости единичной операции с ЦИКБД, %
Виброметры	Вибротест-МГ4	1600	102000	+634
	BC-473-200	2150	185000	+886,6
Анализатор вибрации	ВИБРАН-3	4800	516000	+2107,3
Портативные вибродиагностические системы	VA-12 RION	1965	166000	+800,5
	SPM Leonova Diamond	5216	688000	+2295,4
Вибродатчики (акселерометры)	АЦт-90	938	53700	+330,3
	ВД06А	314	12700	+44
ЦИКБД		545	21325	0

Согласно проведённым экономическим расчётам разрабатываемый ЦИКБД имеет преимущество при проведении единичной диагностической операции. Учитывая данные, полученные при расчётах, можно с высокой долей достоверности утверждать о высокой скорости и точности проведения диагностических мероприятий разрабатываемым комплексом для безразборной диагностики (ЦИКБД) в отличие от имеющихся на рынке и применяемых в производстве и промышленности диагностических комплексов и средств [168-170].

4.6 Топливо-энергетическая оценка диагностики с применением ЦИКБД

Одним из наиболее рациональных способов оценки применения ЦИКБД является определение затрат на проведение диагностических операций. Для этого разработаны специальные экономико-финансовые методики, учитывающие все издержки, непосредственно связанные с выполнением работ, включая фиксированную заработную плату, амортизационные отчисления, отчисления на реновацию, расходы на горюче-смазочные материалы и другие составляющие.

Вместе с тем указанные показатели напрямую зависят от колебаний цен на энергоносители, инфляционных факторов и стоимости труда на конкретном рынке. В связи с этим обеспечить качественный анализ эффективности использования энергетических средств не всегда представляется возможным.

Для оценки эффективности применения ЦИКБД, можно адаптировать методику, разработанную Всероссийским институтом механизации (ВИМ) где в качестве критерия эффективности взята энергоёмкость операций, живого труда и средств механизации. Эта методика позволяет осуществить сравнительный анализ работы энергетических средств в сельскохозяйственном производстве в условиях, не зависящих от колебания рыночных цен.

В рассматриваемой методике в качестве основного критерия энергетической оценки принимается показатель энергетической эффективности, включающий в себя затраты энергии, как прямой, так и вспомогательной, необходимой для производства единицы продукции, а также энергию, которая будет содержаться в конечном продукте.

Проведём топливо-энергетический анализ стандартной диагностики и с применением ЦИКБД, адаптировав методику, предложенную в работах [171, 172, 173].

Прямые затраты энергии трактора New Holland T9.505 складываются из следующих параметров:

$$E_n = N_T^q \cdot (a_m + f_m) / W , \quad (4.11)$$

где N_T^q – расход топлива на 1 единичную диагностическую операцию, кг;

a_m – теплосодержание топлива, $MДж/кг$;

f_m – коэффициент, учитывающий дополнительные затраты энергии на производство топлива, $MДж/кг$;

W – производительность диагностического комплекса ед/ч, принята за – 1, так как расчёт проводится для единичной операции. Стандартная диагностика опор в ремонтной мастерской занимает 1 час, производится при прогревом двигателя, требует привлечения 2 рабочих: механизатора и вспомогательного специалиста, стоимость работы одного вспомогательного специалиста на период марта 2026 в агропромышленном комплексе составляет 420 руб/час, механизатора-500 руб/час.

Диагностика с применением ВС-473-200 осуществляется в течении 30 минут, требует привлечения 2 рабочих: механизатора и вспомогательного специалиста.

Диагностика с применением ЦИКБД занимает 15 минут, требует работы одного вспомогательного специалиста в объёме 0,25 часа. Не требует прогрева силовой установки до рабочих температур, так как проводится при выполнении сельскохозяйственных операций, топливо расходуется только при установке и калибровке датчиков, что занимает 0,12 ч.

Расход двигателя FPT Cursor 13 за час работы (370 кВт/ч) на холостом ходу составляет 6 литров.

Энергозатраты живого труда

$$E_{ж} = n_{ч} \cdot \frac{a_{ж}}{W}, \quad (4.12)$$

где $n_{ч}$ – число основных механизаторов, чел;

$a_{ж}$ – энергетический эквивалент живого труда, $MДж/чел.ч$.

Удельная энергоёмкость трактора в расчете на 1 час работы

$$E_m = \frac{M_m \cdot A_m \cdot (a_m + a_{mk} + a_{mm})}{100 \cdot T_{год} \cdot W}, \quad (4.13)$$

где M_m – масса энергетического средства, кг;

A_m – энергетический эквивалент энергетического средства, $MДж/кг$;

a_m, a_{mk}, a_{mm} – отчисления на реновацию, капитальный и текущий ремонты тракторов, %; $T_{год}$ – годовая загрузка, ч.

Суммарная энергоёмкость трактора равна

$$E_{mm} = E_m + E_{ж}. \quad (4.15)$$

Экономия полных энергозатрат в расчете на 1 час работы

$$\Delta E_{мп} = E_{мпб} - E_{мпн}, \quad (4.16)$$

где $E_{мпб}$ – совокупные энергозатраты базового варианта *МДж/т·км*;

$E_{мпн}$ – совокупные энергозатраты нового варианта *МДж/т·км*.

При расчёте основных топливно-энергетических показателей взяты следующие данные для живого труда: механизатор- 60,8 МДж/ч, вспомогательный специалист- 60,3 МДж/ч. Учитывая необходимость сравнения результатов для различных способов диагностирования, были проведены расчёты для сменной производительности машинно-тракторного агрегата. Полученные в результате проведённых сравнительно-хозяйственных испытаний значения приведены в таблице 4.20

Таблица 4.20-Топливо – энергетическая оценка использования ТТА

Показатели энергозатрат, МДж/см	Стандартная диагностика в ремонтной мастерской	Диагностика с ВС-473-200	Диагностика с ЦИКБД
Прямые затраты энергии трактора New Holland Т9.505., на проведение диагностики МДж/оп	342,51	171,27	85,64
Энергозатраты живого труда, МДж	242,2	181,65	151,38
Удельная энергоёмкость трактора, МДж	628,36	576,18	576,18
Полные энергозатраты, МДж	1195,07	929,1	813,82
Экономия полных энергозатрат, МДж	0	265,97	381,25

На основании проведённого анализа можно сделать вывод, что использование ЦИКБД позволяет получить экономию энергозатрат в 381,25 МДж, в сравнении со стандартным методом диагностики в ремонтной мастерской, и в рублёвом эквиваленте по шкале теплотворности дизельного топлива и его стоимости в Амурской области на период январь 2026 года за 1л ДТ= 77,0 рубля, позволяет получить экономию в 687,5 рублей на одну диагностическую операцию. В сравнении с методом диагностики и применением диагностического комплекса ВС-473-200 экономия энергозатрат составила 115,28 МДж, а в рублёвом эквиваленте – 207,8 рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам исследований, проведенных в диссертационной работе, получены результаты, позволяющие сформулировать следующие обоснованные выводы:

- Изучено современное состояние средств и способов мобильного диагностирования, обозначены направления совершенствования приборно-диагностической базы предприятий, определена категория современных высокоточных цифровых приборов, обладающих соответствующими диапазонами измеряемых показателей для применения в качестве диагностического оборудования;
- Теоретически обоснованы возможности применения высокоточных цифровых инклинометров-акселерометров, обладающих расширенным диапазоном измеряемых показателей, для осуществления безразборной мобильной диагностики технического состояния энергетических средств. Методом аналитической выборки определено высокоточное цифровое устройство-инклинометр-акселерометр, обладающий расширенным набором снимаемых, фиксируемых и передаваемых данных по bluetooth-модулю для обработки на персональный компьютер;
- Изготовлен новый высокоэффективный приборно-диагностический комплекс, выполненный на базе высокоточных цифровых инклинометров-акселерометров и предложен способ исследования технического состояния опор двигателя трактора для его реализации. При этом опытная проверка, проведенная в производственных условиях, доказательно подтвердила целесообразность внедрения предложенных технических решений.
- Разработано программное и техническое обеспечение нового приборно-диагностического комплекса-ЦИКБД, позволяющее реализовать способ исследования технического состояния опор двигателя трактора. Для чего проведена трансформация исходного кода выбранного прибора в читаемый математический формат для обеспечения дальнейших формульных действий и разработано программное обеспечение, направленное на синхронизацию

получаемых, обрабатываемых и предоставляемых данных в составе разрабатываемого приборно-диагностического комплекса (ЦИКБД). Техническое обеспечение работоспособности комплекса ЦИКБД заключается в расчёте и изготовлении установочных элементов для диагностических датчиков и кейса для переноски комплекса ЦИКБД с необходимыми материалами.

- Проведена экспериментальная проверка предлагаемых технических и программных решений в производственных условиях и дана технико-экономическая оценка проводимых исследований. При опытной проверке экспериментального объекта установлено значение искомым коэффициентов амплитудного соответствия $K_{\text{хас}}$, $K_{\text{уас}}$, $K_{\text{зас}}$ для осей углового ускорения в пределах: для оси X от 0,052 до 0,105; для оси Y от 0,069 до 0,112; для оси Z от 0,127 до 0,175, в зависимости от оборотов двигателя. Данные находятся в пределах коридора адекватности и указывают, что наиболее рациональным проверочно-диагностическим режимом являются обороты двигателя от 800 до 1800 об/мин.

- Сравнительный анализ данных эксперимента показывает, что оптимальные значения углового ускорения стремятся к 2000 об/мин, что свидетельствует не только о работоспособности опор двигателя, но и об общем работоспособном состоянии ДВС, что так же подтверждается графиками, полученными при помощи авторского программного обеспечения. Установлено, что минимальные колебания на опорах наблюдаются при оборотах двигателя, приближенных к максимальным, а при 1400 об/мин и 1800 об/мин отмечены гармонические колебания, с общими минимальными отклонениями в $0,3 \text{ м/с}^2$.

- Расчётным методом установлена стоимость изготовления элементов технического обеспечения и определены показатели экономической эффективности предложенного приборно-диагностического комплекса ЦИКБД. Так стоимость единичной проверочной операции составила 545, 0 руб., что является наименьшим показателем в исследуемой области техники, при этом сменная производительность в 17440,0 руб. представится наиболее эффективным показателем в сравнении с известными аналогами предлагаемого диагностического комплекса.

- Доказано, что экономия энергозатрат при использовании ЦИКБД составляет 381,25 МДж в сравнении со стандартным методом диагностики в ремонтной мастерской, и в рублёвом эквиваленте по шкале теплотворности дизельного топлива и его стоимости в Амурской области на период января 2026 года за 1л ДТ= 77,0 рубля, позволяет получить экономию в 687,5 рублей на одну диагностическую операцию. В сравнении с методом диагностики и применением диагностического комплекса ВС-473-200 экономия энергозатрат составила 115,28 МДж, в рублёвом эквиваленте – 207,8 рублей.

Рекомендации производству. Программные продукты и конструктивные схемы предлагаемых технических решений, позволяют произвести техническое диагностирование опор двигателей колёсных тракторов различных конструкций в короткие сроки и, учитывая небольшую стоимость ЦИКБД, получить экономию денежных средств и ресурсов за счёт снижения времени проведения диагностики, быстрого получения и сбора аналитических, и сравнительных данных, что будет востребовано при планировании и проведении операций системы технического обслуживания и ремонта на предприятиях АПК.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Дальнейшее развитие тематики использования ЦИКБД, учитывая, что комплекс обладает возможностью считывания следующих показателей- ускорение, температура, угловая скорость, угол отклонения, магнитное поле, кватернион, предполагает расширение сферы его применения для диагностирования сложных объектов, конструкций, систем и агрегатов автомобилей (тракторов), сельскохозяйственных машин (орудий), внедрение диагностических датчиков непосредственно в конструкцию трактора (автомобиля), разработку новых способов диагностирования и испытаний, минимизацию считывающе-расчётных машин и масштабное применение авторской программной оболочки для использования в мобильных коммуникационных устройствах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Программа для ЭВМ поле.рф , официальный сайт // Электронный ресурс URL <https://поле.рф/journal/tag/10>. Дата обращения 05.06.2025
2. Министерство сельского хозяйства Амурской области // Электронный ресурс URL https://agro.amurobl.ru/pages/agro_komp/mekhanizatsiya-apk/. Дата обращения 04.06.2025
3. АгроИнвестор // Электронный ресурс URL <https://www.agroinvestor.ru/tech/article/43876-selkhoztekhnika-tormozit-v-rossii-serezno-sokratis-ee-proizvodstvo-i-prodazhi/> Дата обращения 03.06.2025
4. Росагролизинг // Электронный ресурс URL <https://www.rosagroleasing.ru/company/smi/news/> Дата обращения 20.06.2025
5. Сурин, Р.О. Повышение эффективности использования колёсных энергетических средств на полевых работах: автореферат: 4.3.1/ Сурин Роман Олегович. -Благовещенск, 2025.-18 с.
6. Сурин, Р.О. Анализ современного состояния и направления модернизации сельскохозяйственного производства (на примере Амурской области) / Известия Оренбургского государственного аграрного университета.- 2023. - № 1 (99). - С. 173–179 doi: 10.37670/2073-0853.
7. Оценка влияния технического состояния подвижного состава на расход топлива и коэффициент технической готовности / Н. В. Лимаренко, Д. С. Рябчиков, А. А. Тимакина [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15, № 3. – С. 116-122. – DOI 10.36508/RSATU.2023.33.97.016. – EDN IUZFMZM.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024669507 Российская Федерация. Программа повышения эффективности работы автомобилей DAF на линии цифровизацией их эксплуатации : № 2024668672 : заявл. 08.08.2024 : опубл. 19.08.2024 / Н. В. Лимаренко, И. А. Юхин, И. А. Успенский [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева». – EDN LHZETS.

9. CLAAS TELEMATICS, официальный сайт // Электронный ресурс URL <https://www.claas.tw/products/digital-solutions/data-management/telematics> Дата обращения 01.06.2025

10. Карпиевич, Ю. Д. Бортовое диагностирование технического состояния силового агрегата трактора / Ю. Д. Карпиевич, И. И. Бондаренко. – Минск : БНТУ, 2022. – 126 с. – ISBN 978-985-583-779-5.

11. Бортовые системы диагностирования легковых автомобилей. – М. : ЦНИИТЭИавтопром, 1998. – 32 с.

12. Лимаренко, Н. В. Цифровые инструменты повышения энергетической эффективности технических средств / Н. В. Лимаренко, И. А. Юхин // Актуальные проблемы науки и техники. 2023 : Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 15–17 марта 2023 года / Ответственный редактор Н.А. Шевченко. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2023. – С. 1192-1193. – EDN FRYKGW.

13. Golovin, Y. I. Dynamic Thermography for Technical Diagnostics of Materials and Structures / Y. I. Golovin, D. Y. Golovin, A. I. Tyurin // Russian Metallurgy (Metally). – 2021. – Vol. 2021, No. 4. – P. 512-527. – DOI 10.1134/S0036029521040091. – EDN KLHAMA.

14. Костюков В.Н. Практические основы виброакустической диагностики машинного оборудования: Учеб. пособие [Текст] / В.Н. Костюков, А.П. Науменко. - Омск: Издательство ОмГТУ, 2002. - 108 с.

15. АгроБизнес, официальный сайт // Электронный ресурс URL <https://agbz.ru/articles/obzor-sovremennyih-telemetriceskih-sistem-dlya-selhoztehniki/> Дата обращения 02.06.2025

16. Кокиева, Г. Е. Исследование инженерно-технического сервиса на современном этапе развития АПК / Г. Е. Кокиева // Столыпинский вестник. – 2023. – Т. 5, № 6. – EDN FMPSQX.

17. Обеспечение эксплуатационной надежности сельскохозяйственной техники с учетом региональных особенностей / И. И. Габитов, А. В. Неговора, М. Н. Фархшатов [и др.] // Технический сервис машин. – 2024. – Т. 62, № 1. – С. 36-43. – DOI 10.22314/2618-8287-2024-62-1-36-43. – EDN JIXPHT.

18. Кокиева, Г. Е. Технологические основы эффективности обслуживания машин ремонтно-обслуживающих предприятий / Г. Е. Кокиева // Столыпинский вестник. – 2023. – Т. 5, № 6. – EDN PNKWHNA.

19. Коваленко В.П., Ильинский А.А. Основы техники очистки жидкостей от механических загрязнений. М.: Химия, 1982. - 272 с.

20. Баширов, Р. М. Теоретическое обоснование оперативного метода диагностирования дизельных двигателей и их топливной аппаратуры / Р. М. Баширов, Ф. Р. Сафин, А. В. Неговора // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2024. – № 3(71). – С. 90-95. – DOI 10.31563/1684-7628-2024-71-3-90-96. – EDN FHBCZK.

21. L.A. Novopashin, L.V. Denezhko, YU.V. Pankov, K.M. Potetnya, A.A. Sadov, Improvement of the methods of diagnostics of agricultural machinery // Agrarian education and science. 2018. №2. URL: <https://aes-urgau.ru/en/2-2018-en/16-2-2018-en.html> (дата обращения: 07.06.2025).

22. Кокиева, Г. Е. Исследование долговечности и надежности современных машин / Г. Е. Кокиева, Ж. Ж. Дондоков // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. – 2022. – № 4. – EDN UWUFRJ.

23. Shimokhin AV, Kirasirov OM. The procedure for improving the management of the maintenance and repair process using the neural network technology. Tractors and Agricultural Machinery. 2023;90(6):561–573. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-546006>

24. Бабич А.Г. Оценка эффективности виброакустической диагностики автомобильных агрегатов / А.Г. Бабич, С.Н. Лебединцев // Материалы IV-й ежегодной научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета «Университетская наука - региону». - 2016. - С. 272-274.

25. Анализ методов исследования виброакустических характеристик деталей сложной формы и технических средств обработки сигналов сложной формы. Анализ методов обработки виброакустических сигналов на предмет применительно к узлам и механизмам ДВС. Выбор методов диагностики, анализа и обработки сигналов для создания комплекса диагностики ДВС: отчет по НИР (промежточ.) / ФГБОУ ВО Казанский государственный энергетический университет; рук. Ившин И.В., 2013. - 73 с. – Исполн.: Ваньков Ю.В., Кочергин А.В., Гаврилов В.А., Зиганшин Ш.Г., Серов В.В., Низамиев М.Ф., Решетников А.П., Сахапов А.А., Садыков И.Р. - № 02.G25.31.0004.

26. Lucchi, E. Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: A review / E. Lucchi // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2018. – Vol. 82. – P. 3077-3090. – DOI 10.1016/j.rser.2017.10.031. – EDN YDMQCD.

27. Повышение эффективности работы автомобилей на линии с помощью информационных технологий / Н. В. Лимаренко, Д. М. Юмаев, А. И. Ушанев, И. А. Успенский // Научные приоритеты в АПК: вызовы современности : материалы 75-й юбилейной международной научно-практической конференции, Рязань, 25 апреля 2024 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2024. – С. 112-119. – EDN QCZYXE.

28. ГОСТ 24346-80 Вибрация. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2010. 28 с

29. ГОСТ ИСО 10816-4-2002 Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на не вращающихся частях. Часть 4. Газотурбинные установки. М.: Стандартинформ, 2007. 8 с.

30. ГОСТ ИСО 5348 – 2002 Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров . М.: Стандартинформ, 2003. 16 с.

31. ГОСТ ИСО 7919-1-2002 Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на вращающихся валах. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2003. 16 с.

32. ГОСТ Р ИСО 13373-2-2009 Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния маши. Ч.2 Обработка, анализ и представление результатов измерения вибрации. М.: Стандартиформ, 2010. -28 с.
33. ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения.
34. Разумовский, М. А. Борьба с шумом на тракторах / М. А. Разумовский. – Минск: Наука и техника, 1973. – 208 с.
35. Васильев, А. В. Расчёт и снижение внутреннего шума и вибрации автомобилей / А. В. Васильев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Т. 6. – 2004. – № 2. – С. 390–398.
36. Износ дизельного двигателя в течение прогрева / С. Н. Шуханов, П. А. Болоев, Г. Е. Кокиева [и др.] // Наука в центральной России. – 2024. – № 3(69). – С. 46-52. – DOI 10.35887/2305-2538-2024-3-46-52. – EDN GJLNOG.
37. Крук, Д. В. компьютерная диагностика автомобиля / Д. В. Крук, В. Д. Глухих, С. Н. Шуханов // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК : Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых, п. Молодежный, 16–17 марта 2023 года. – п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. – С. 396-402. – EDN KDTNDO.
38. Андреева, Е. В. Новые композиционные материалы и методы трибодиагностики для сельхозмашин [Разработка Института механики металлополимерных систем им. В. А. Белого Республики Белоруссии] / Е. В. Андреева // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. – 2009. – № 1. – С. 6. – EDN JXBPIX.
39. Доценко Ю.Г. Разработка метода вибродиагностики деталей цилиндропоршневой группы двигателя на основе кепстрального анализа: Автореф. диссертации канд. техн. Наук.- М.: 1996.- 21 с.
40. Костюков В. Н., Науменко А. П., Бойченко С. Н., Тарасов Е. В. Основы виброакустической диагностики машинного оборудования. Омск: НПЦ Динамика, 2007. 286 с.

41. Antoni, J., Bonnardot, F., Raad, A., El Badaoui, M. (2004) Cyclostationary modeling of rotating machine vibration signals. *Ibid*, 18, 1285-1314. DOI: 10.1016/S0888-3270(03)00088-8

42. А. И. Малютин Мониторинг качества моторного масла по накоплению нерастворимых механических примесей / А. И. Малютин, Е. А. Татаренков, С. Ю. Панов, З. С. Гасанов // *Наука в центральной России*. – 2023. – № 3(63). – С. 153-163. – DOI 10.35887/2305-2538-2023-3-153-163. – EDN RBIMPF.

43. П. В. Рачков Контроль загрязненности рабочих полостей жидкостных систем и агрегатов / П. В. Рачков, А. С. Грешнов, В. Б. Кровяков, В. В. Короленко // *Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения* : материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 26–27 ноября 2018 года. Том Часть I. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2018. – С. 241-252. – EDN YSMSEP.

44. И. А. Успенский Повышение эффективности работы грузовых автомобилей в АПК цифровизацией их эксплуатации / И. А. Успенский, И. А. Юхин, П. С. Синицин [и др.] // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. – 2025. – № 5(83). – С. 464-474. – DOI 10.32786/2071-9485-2025-05-52. – EDN BYNWEX.

45. Гаврилов В.А Экспериментальный измерительный комплекс для диагностики зубчатых передач / Гаврилов В.А. // «Электромеханические и внутрикамерные процессы в энергетических установках, струйная акустика и диагностика, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий»: материалы 20 Всероссийской межвузовской научно-технической конференции, ч.1. - Казань: КВАКУ, 2008. - С. 296.

46. Способы и инструменты повышения эксплуатационной эффективности узлов и агрегатов сельскохозяйственной техники : Монография / Н. В. Лимаренко, Д. Н. Савенков, А. А. Щербаков [и др.]. – Ростов-на-Дону : Донской государственный технический университет, 2024. – 167 с. – ISBN 978-5-7890-2235-1. – EDN MGYMUU.

47. Неговора, А. В. Интеллектуализация процессов эксплуатации и ремонта автотракторной и комбайновой техники / А. В. Неговора, Т. Р. Башаров // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы X Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 90-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Терских Ивана Петровича, Молодёжный, 06–08 октября 2022 года / Редколлегия: Н.Н. Дмитриев [и др.]. – Молодёжный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2022. – С. 43-46. – EDN VSBMСС.

48. Бигус Г. А., Даниев Ю. Ф., Быстрова Н. А., Галкин Д. И. Диагностика технических устройств. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. 615 с.

49. Device for detecting the occurrence of misfires in a multi-cylinder engine: пат. 5245866 A US. /TOYOTA MOTOR CO LTD [JP] . - № US19920934829; заявл. 1992-08-24; опубл. 1993-09-21.

50. Method and device for determining uneven operation of cylinders in an internal combustion engine: пат. 5396427 (A) US. /SNAP ON TOOLS CORP [US] . - № US19920848274; заявл. 1992-03-09; опубл. 1995-03-07.

51. Method and device for determining uneven operation of cylinders: пат. 5182512 A US. /SNAP ON TOOLS CORP [US] . - № US19900604191; заявл. 1990-10-29; опубл. 1993-01-26.

52. Стенд для испытания двигателя внутреннего сгорания: пат. 66047 РФ /Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования СамГАПС . - № 2007111749/22; заявл. 29.03.2007; опубл. 27.08.2007.

53. Кравченко В. М., Сидоров В. А., Седуш В. Я. Техническое диагностирование механического оборудования. Донецк: ООО Юго_Восток Лтд, 2009. 459 с.

54. Совершенствование диагностирования тракторов агропромышленного комплекса / Э. В. Кузнецова, И. А. Успенский, И. А. Юхин, А. А. Горохов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А.

Костычева. – 2025. – Т. 17, № 1. – С. 135-142. – DOI 10.36508/RSATU.2025.84.61.019. – EDN EМААУО.

55. Способ оценки технического состояния машины: пат. 2133953 РФ, МПК G 01 М 15/00. /Воен. акад. бронетанковых войск (RU) . - № 98114467/06; заявл. 29.07.98; опубл. 27.07.99; Бюл. N21.

56. Hurd, H. L. Periodically Correlated Random Sequences: Spectral Theory and Practice / H. L. Hurd, A. Miamer // Periodically Correlated Random Sequences: Spectral Theory and Practice, 2007. – P. 1-362. – DOI 10.1002/9780470182833. – EDN УЕКТХУ.

57. Устройство контроля технического состояния танкового двигателя в полевых условиях: пат. 2161786 РФ, МПК G 01 М 15/00. /Общевойсковая акад. вооруженных сил РФ (RU) . - № 99108807/06; заявл. 28.04.99; опубл. 10.01.01; Бюл. N1

58. Способ диагностики и прогнозирования технического состояния двигателей: пат. 2005118135А РФ, /Зобенко Андрей Александрович (RU), Хабужов Василий Арсеньевич (RU), Худяков Владимир Федорович (RU) . - № 2005118135/06; заявл. 10.06.2005; опубл. 20.09.2005.

59. Данилов И. К. Повышение эффективности использования ресурса автотракторных двигателей систематизацией эксплуатационно-ремонтного цикла на основе диагностирования: Дис. ... док. техн. наук: 05.20.03. Саратов, 2005.

60. ГОСТ 25044-81. Техническая диагностика. Диагностирование автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных, строительных и дорожных машин.

61. ГОСТ 25176-82. Техническая диагностика. Средства диагностирования автомобилей, тракторов, строительных и дорожных машин.

62. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. – М.: Издательство стандартов, 1986.

63. Установка для вбродоакустических испытаний двигателя внутреннего сгорания Пат. 160989 Рос. Федерация: МПК G01M 15/02, G01M 15/05. / М.Ф. Низамиев. И.В. Ившин, О.В. Владимиров, А.Р. Загретдинов, А.М. Копылов, Р.Р.

Гибадуллин, Н.К. Мифтахова; Заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВПО «КГЭУ» (RU). - №2015129188/06 заявл. 16.07.2015; опубл. 10.04.2016; бюл.№10.- 2с .

64. Lucas de Azevedo Takara, Viviana Cocco Mariani, Leandro dos Santos Coelho, Novel engine fault diagnosis framework based on machine learning and MiniRocket feature extraction using multi-correlation feature selection and predictive power score, Expert Systems with Applications, Volume 293, 2025, 128662, ISSN 0957-4174, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.128662>.

65. Совершенствование технического сервиса систем питания двигателей коммерческой техники / А. В. Неговора, А. Ф. Ахметов, И. Р. Исанбердин, Т. Р. Башаров // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2025. – № 4(76). – С. 162-168. – DOI 10.31563/1684-7628-2025-76-4-162-168. – EDN PQOAJM.

66. Жданко, Д.А. Теоретическое обоснование параметров гидравлического тормозного устройства обкаточно-тормозного стенда / Д.А. Жданко // Агропанорама. – 2009. – № 3. – С. 38–42

67. Жданко Д. А. Анализ современных обкаточно-тормозных стендов/ Д.А. Жданко, А.В. Новиков// Межведомственный тематич. сб. “Механизация и электрификация сельского хозяйства”/ РУП “НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства”. – 2007. – №41. – С.42-48.

68. Патент на полезную модель № 34735 U1 Российская Федерация, МПК G01M 15/00, F02B 79/00. Стенд для приработки и испытания двигателей внутреннего сгорания : № 2003125121/20 : заявл. 20.08.2003 : опубл. 10.12.2003 / В. В. Мокшин, В. В. Подовинников. – EDN MVEYCM.

69. Асатуриян, С.В. Диагностический комплекс для определения основных показателей двигателей с турбонаддувом / А.Г. Арженовский, С.В. Асатуриян // Совершенствование конструкции и повышение эффективности эксплуатации колесных и гусеничных машин в АПК. – зерноград, 2010. – С. 11–15.

70. А.с. 1 2361187 RU G 01 M 15/04. Способ определения мощности двигателя внутреннего сгорания / Н.В. Щетинин, А.Г. Арженовский, Д.В. Казаков, Д.О.

Мальцев, О.Е. Асатурян, С.Н. Микрюков, И.И. Чичиланов; заявитель и патентообладатель АзовоЧерноморская государственная агроинженерная академия. – № 2007146150/06; заявл. 11.12.2007; Изобретения. – 2009. – № 19. – С. 4.

71. Асатурян, С.В. К определению основных показателей двигателей тракторов с турбонаддувом по ускорению коленчатого вала на переходном режиме / А.Г. Арженовский, С.В. Асатурян // Вестник ДГТУ. – 2008. – № 4 (39). – С. 420–425.

72. A. Negovora. Development of a method for diagnosing injectors of diesel engines / I. Gabitov, A. Negovora, S. Nigmatullin [et al.] // *Komunikacie*. – 2021. – Vol. 23, No. 1. – P. 46-57. – DOI 10.26552/COM.C.2021.1.B46-B57. – EDN OEFCUY.

73. Ревякин М.М. Реализация назначенного ресурса двигателя путем контроля условий эксплуатации по параметру удельного химмотологического показателя моторного масла // *Агротехника и энергообеспечение*. 2017. № 2 (15). С. 62-67.

74. Применение метода спектрального анализа картерного масла для определения рациональных режимов пуска и прогрева двигателей лесозаготовительных машин / М. А. Рассохин [и др.] // *Системы. Методы. Технологии : научный периодический журнал*. - 2019. - N 1. - С. 107-111 . - ISSN 978-5-816

75. Денисов Владимир Петрович, Домбровский Андрей Петрович, Домбровская Ольга Олеговна Апробация способа устранения перегрева двигателя внутреннего сгорания путем пульсирующего изменения скорости теплоносителя в системе охлаждения // *Вестник СибАДИ*. 2014. №2 (36). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/aprobatsiya-sposoba-ustraneniya-peregrev-dvigatelya-vnutrennego-sgoraniya-putem-pulsiruyuschego-izmeneniya-skorosti-teplonositelya> (дата обращения: 07.08.2025).

76. Авторское свидетельство № 1208294 А1 СССР, МПК F02М 65/00. Устройство для диагностики дизельного двигателя : № 3783179 : заявл. 22.08.1984

: опубл. 30.01.1986 / А. Н. Мурашко, Н. В. Василенко, Л. И. Билык ; заявитель ПРЕДПРИЯТИЕ П/Я А-3327. – EDN GUZLRU.

77. Габидулин В.Д., Добромиров В.Н. Выявление неисправностей электронных систем управления двигателем внутреннего сгорания по акустическим параметрам. Научный рецензируемый журнал "Вестник СибАДИ". 2025;22(3):332-345. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-3-332-345>. EDN: VPQLKJ

78. Павлов Б.В. Акустическая диагностика механизмов. – М.: Машиностроение. 1971. -223 с.

79. Наумов, А. В. Оценка уровня шума на рабочем месте трактора К-701 / П. И. Павлов, А. В. Наумов // Вавиловские чтения -2009 : матер, междунар. науч.-практич. конф. - Саратов : КУБиК, 2009. - С. 321-322 (0,2/0,1).

80. Aybek, A., Kamer, A. N., & Arslan, S. (2010). Personal noise exposures of operators of agricultural tractors. *Applied Ergonomics*, 41(2), 274-281. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2009.07.006>

81. Вершинский, Л.В. Экспериментальные исследования стационарного поворота колесного погрузчика с шарнирно-сочлененной рамой [Текст] / Л.В. Вершинский, В.И. Костюченко, Б.М. Позин, И.П. Трояновская // Вестник ЧГАУ. - Челябинск: ЧГАУ. - Т.47, 2006. - С. 22 - 29. 39.

82. Позин, Б.М. Экспериментальные исследования стационарного поворота тракторного поезда на базе минитрактора [Текст] / Б.М. Позин, И.П. Трояновская, Д.И. Нарadowый // Вестник ЧГАУ. - Т.52. - Челябинск: ЧГАУ, 2008. - С. 85 - 89.

83. В. Н. Зузов Рациональное моделирование несущих систем колесных тракторов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2004. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ratsionalnoe-modelirovanie-nesuschih-sistem-kolesnyh-traktorov> (дата обращения: 07.08.2025).

84. Анилович, В. Я., Водолажченко, Ю. Т. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов / В. Я. Анилович, Ю. Т. Водолажченко. – Москва : Машиностроение, 1976. – 456с.

85. Морозов Александр Викторович, Федотов Геннадий Дмитриевич, Якунин Александр Иванович, Замальдинов Марат Миндехатович Повышение качества ремонта горизонтального шарнира рамы трактора К-701 и его модификаций применением электромеханической закалки // Известия ТулГУ. Технические науки. 2017. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-kachestva-remonta-gorizontalnogo-sharnira-ramy-traktora-k-701-i-ego-modifikatsiy-primeneniem-elektromehanicheskoj-zakalki> (дата обращения: 07.08.2025).

86. Скадорва А. Ф., Стасилевич А. Г., Карташевич А. Н. Математическая модель динамики разгона гусеничного трактора с переключением передач без разрыва потока мощности // Вестник Белорусско-Российского университета. 2015. №1 (46). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-model-dinamiki-razgona-gusenichnogo-traktora-s-pereklyucheniem-peredach-bez-razryva-potoka-moschnosti> (дата обращения: 07.08.2025).

87. Абдряшитов, Р. Н. Перспективные методы и средства технического диагностирования трансмиссии трактора МТЗ-900 / Р. Н. Абдряшитов // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Пенза, 24–25 марта 2022 года. Том II. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2022. – С. 14-17. – EDN RYGVVSF.

88. Диагностирование рулевого управления и подвески автомобилей в процессе эксплуатации / Н. В. Лимаренко, И. А. Успенский, И. А. Юхин [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2024. – Т. 16, № 3. – С. 134-140. – DOI 10.36508/RSATU.2024.20.54.017. – EDN LZDOZR.

89. Шарипов В. М., Игнатенко В. Н., Дмитриев М. И. Методика ресурсных стендовых испытаний тракторных фрикционных сцеплений // Машиностроение и компьютерные технологии. 2014. №11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-resursnyh-stendovyh-ispytaniy-traktornyh-friktsionnyh-stseplenyi> (дата обращения: 07.08.2025).

90. В.М. Алексеев, С.Ц. Цымпилов. Дифференциальный метод диагностирования гидравлических систем тракторных трансмиссий // Вест. 27 Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления.// ВСГУТУ - Улан-Удэ, 2014, - №5(50) – С.67-71.

91. Скороходов Дмитрий Михайлович, Песковацков Дмитрий Николаевич К вопросу диагностирования гидравлической системы механизма навески энергонасыщенных тракторов // Наука без границ. 2018. №2 (19). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-diagnostirovaniya-gidravlicheskoj-sistemy-mehanizma-naveski-energonasyschennyh-traktorov> (дата обращения: 07.08.2025).

92. Бурмистров В.А., Волков В.Н., Тимохов Р.С. Программа стендовых и эксплуатационных испытаний гидравлических систем трактора // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 8-5. С. 852-854; URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=7257> (дата обращения: 07.08.2025).

93. Карасев, А.В Актуальность разработки вибрационного метода диагностики плавности хода автомобиля в условиях технического сервиса в агропромышленном комплексе [Текст]/ А.В. Карасев, Т.Д. Дзоцеидзе// Международный технико-экономический журнал. - 2010. - №5. - С. 72-76. (0,62/0,31 п.л.).

94. Победин, А.В. Испытания виброизоляторов на стенде / А.В. Победин, К.В. Шеховцов // Изв. ВолгГТУ. Серия "Наземные транспортные системы". Вып. 4: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – № 12. – С. 41-43.

95. Ляшенко, М. В. Лабораторная установка для испытаний виброизоляторов / М.В. Ляшенко, А.В. Победин, К.В. Шеховцов // Вестник Академии военных наук. – 2011. – № 2 (спецвыпуск). – С. 270 – 274.

96. П. м. 104714 РФ, МПК G 01 M 7/02. Стенд для испытаний виброизоляторов / В.В. Шеховцов, А.В. Победин, Вл. П. Шевчук, М.В. Ляшенко, К.В. Шеховцов, Д.В. Бусалаев; ГОУ ВПО ВолгГТУ. – 2011.

97. П. м. 118056 РФ, МПК G 01 M 7/02. Стенд для испытаний виброизоляторов в режиме вынужденных и собственных колебаний / К.В. Шеховцов, А.В. Победин, Вл.П. Шевчук, М.В. Ляшенко; ВолгГТУ. – 2012.

98. Шеховцов, К.В. Испытания виброизоляторов кабины трактора [Электронный ресурс] / К.В. Шеховцов // Инженерный вестник Дона: электронный журнал. – 2012. – № 1. – С. URL: <http://ivdon.ru/magazine/latest/n1y2012/639/>.

99. Стендовое оборудование для испытания виброизоляторов кабины трактора / А.В. Победин, М.В. Ляшенко, К.В. Шеховцов, З.А. Годжаев // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – № 7. – С. 43-48.

100. Shekhovtsov, K.V. Vibration Isolators`s Laboratory Testing Plant / K.V. Shekhovtsov, A.V. Pobedin, O.D. Kosov // 30th Anniversary Seminar of the Students` Association for Mechanical Engineering (11-13.05.2011, Warsaw, Poland): book of Abstracts / Military University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering. – Warsaw, 2011. – S. 66-67. – Англ.

101. Стенд для испытаний виброизоляторов [Электронный ресурс] / К.В. Шеховцов, А.В. Победин, М.В. Ляшенко, В.В. Шеховцов // Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров: матер. междунар. науч.-техн. конф. Ассоциации автомоб. инж. (ААИ), посвящ. 145-летию МГТУ "МАМИ" / Моск. гос. техн. ун-т «МАМИ». – М., 2010. – Кн. 1 (Секция 1). – С. 336-341. – [URL:www.mami.ru/science/mami145/scientific/S_01htm](http://www.mami.ru/science/mami145/scientific/S_01htm).

102. Пат. 2642963 Российская Федерация, МПК G01M 15/00. Устройство для измерения акустического сигнала от деталей турбомашин / Герман Г.К., Зубко И. О., Зубко А. И.; заявитель и патентообладатель ПАО ОДК - УМПО (RU). - № 2017112768; заявл. 13.04.2017; опубл. 29.01.2018, Бюл. № 4.

103. Низамиев, И.В. Ившин, О.В. Владимиров // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. - 2014. -№3 . -С . 24-28.

104. Дунаев А. В. Экспресс-оценка остаточного ресурса цилиндро-поршневой группы двигателей внутреннего сгорания // ГИАБ. 2009. №12. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/ekspress-otsenka-ostatocznego-resursa-tsilindro-porshnevoy-gruppy-dvigatelye-vnutrennego-sgoraniya> (дата обращения: 07.08.2025).

105. Баженов Ю. В., Каленов В. П. Прогнозирование остаточного ресурса электронных систем управления двигателем // Вестник СибАДИ. 2017. №2 (54).

URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-ostatocznego-resursa-elektronnyh-sistem-upravleniya-dvigatelem> (дата обращения: 07.08.2025).

106. 46. Осяев, А.Т. Обеспечение эксплуатационной надежности локомотивов на этапах жизненного цикла[Текст] / А.Т. Осяев. – Москва : Изд-во «Интекст» , 2006. – 159 с

107. Моргалик, Б. М. Непрерывный контроль диагностических параметров механических трансмиссий СДМ / Б. М. Моргалик // Современные технологии, материалы, машины и оборудование: тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Мопшев, 16-17 мая 2002 г. / МГТУ ; редкол.: И. С. Сазонов [и др.]. - Могилев, 2002.- С. 334.

108. Способ диагностирования зубчатых зацеплений механических передач : пат. 9279 Респ. Беларусь, МПК 7 С 1 О 01 М 13/02 / Г. Л. Антипенко, Д. Г. Антипенко, А. Н. Максименко, Б. М. Моргалик ; заявитель Белорус.-Рос. ун-т. - № а 20040773 ; заявл. 02.07.02 ; опубл. 30.06.07 // Аф1цыйны бюл. / Нац. цэнтр Інтэлектуал. уласнасц. — 2007. - № 6. - С. 84

109. Патент № 2013756 С1 Российская Федерация, МПК G01M 13/04. Способ прогнозирования технического состояния подшипников качения : № 5020996/27 : заявл. 23.12.1991 : опубл. 30.05.1994 / В. А. Аршинов. – EDN DGZDOV.

110. Авторское свидетельство № 1719953 А1 СССР, МПК G01M 13/04. Способ контроля подшипника роторной системы : № 4797074 : заявл. 28.02.1990 : опубл. 15.03.1992 / В. В. Волков, В. С. Потапенко, В. П. Пячкус ; заявитель Каунасский политехнический институт. – EDN TFWTZQ.

111. Патент № 2540195 С1 Российская Федерация, МПК G01M 15/00, G01M 13/04, F04D 29/66. способ диагностики повреждения деталей машин : № 2014100512/06 : заявл. 09.01.2014 : опубл. 10.02.2015 / В. Н. Костюков, Е. В.

Тарасов, А. В. Костюков, С. Н. Бойченко ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью НПЦ "Динамика"-Научно-производственный центр "Диагностика, надежность машин и комплексная автоматизация". – EDN ZFETZZ.

112. Патент № 2491526 С2 Российская Федерация, МПК G01M 15/04. Способ диагностики двигателя : № 2007135860/28 : заявл. 27.09.2007 : опубл. 27.08.2013 / Э. К. Мэссен, О. М. Д. Литгоу ; заявитель ПЕРКИНЗ ЭНДЖИНЗ КОМПАНИ ЛИМИТЕД. – EDN YZHXLB.

113. Патент № 2474715 С1 Российская Федерация, МПК F02D 45/00, G01M 15/00, G01L 23/00. Способ определения технического состояния двигателя внутреннего сгорания и электронное устройство для его осуществления : № 2011141374/06 : заявл. 12.10.2011 : опубл. 10.02.2013 / С. С. Куков, А. В. Гриценко, К. А. Цыганов, А. В. Горбунов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Челябинская государственная агроинженерная академия". – EDN WNQNIR.

114. Виброметр диагностический ВАДИМ. Руководство по эксплуатации РЭ 4277- 028-00205435-01. М.: ООО Научно-производственное предприятие ВиКонт, 1990. 24 с.

115. Соколова А. Г. Метод локализации источников повышенной виброактивности машинного оборудования по данным дискриминантного анализа вибрации в задачах вибромониторинга и диагностики неисправностей // Вестник научно-технического развития. 2010. №1 (29). С.26-42. URL: <http://www.vntr.ru/ftpgetfile.php?id=385> (дата обращения 03.09.2024).

116. Соколова А. Г., Балицкий Ф. Я., Брусиловский Ю. В., Минкин И. В., Изотов А. В., Вишняков С. А., Морозов О. В. Программный комплекс дискриминантного анализа вибрации как средство раннего обнаружения эксплуатационных повреждений газотурбинных установок. // Вестник научно-технического развития. 2008. №8 (12). С.65-72. URL: <http://www.vntr.ru/ftpgetfile.php?id=207> (дата обращения 03.09.2024).

117. Абрамов И. Л. Вибродиагностика энергетического оборудования. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2011. 80 с.
118. Клюев В. В. Справочник в 8т. Неразрушающий контроль. Т.7 кн.2 Вибродиагностика /В. В. Клюев Гл редактор. М.: Машиностроение, 2006. 829с.
119. Чичков Борис Анатольевич Вибродатчики и микроэлектромеханические системы мобильных устройств, как их аналоги, для оценки вибросостояния роторных машин // Научный вестник МГТУ ГА. 2016. №223 (1). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vibrodatchiki-i-mikroelektromehhanicheskie-sistemy-mobilnyh-ustroystv-kak-ih-analogi-dlya-otsenki-vibrosostoyaniya-rotornyh-mashin> (дата обращения: 07.09.2025).
120. Стуленков, А. В. Новые применения лазерной виброметрии / А. В. Стуленков, П. И. Коротин, А. С. Суворов // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2020. – Т. 84, № 6. – С. 824-828. – DOI 10.31857/S0367676520060290. – EDN JWPUFG.
121. Прошкин Станислав Станиславович К вопросу о точности измерения температуры с помощью тепловизора // Вестник МАХ. 2014. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-tochnosti-izmereniya-temperatury-s-promoschyu-teplovizora> (дата обращения: 07.08.2025).
122. Баркова Н.А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Расчет основных частей вибрации узлов машин, параметров измерительной аппаратуры и практическая экспертиза: Учебное пособие / Н.А. Баркова, А.А. Борисова - СПб.: СПбГМТУ, 2009. - 111 с.
123. Пинегин С. В. Прецизионные опоры качения и опоры с газовой смазкой. М.: Машиностроение, 1984. 216 с.
124. Нестеренко В. Г. Никитин Ю. М. Конструкция и расчет основных опор и валов ВРД. М.: Изд. МАИ, 1999. 112 с.
125. Дименберг Ф. М. Изгибные колебания вращающихся валов. М.: Изд-во академии наук СССР, 1959. 248 с.

126. Диагностирование ДВС по показателям спектрального анализа изменения угловой скорости коленчатого вала / Куверин И.Ю. // Логистика и экономика ресурсосбережения и энергосбережения в промышленности «МНПК «ЛЭРЭП-2-2007» : . мат. междунар. науч.- практ. конф. : т. 2 / – С. 270- 274.

127. Method and system for detecting misfires in an internal combustion engine based on uneven crankshaft rotation: пат. 5200899 А US. /UNIV MICHIGAN [US] . - № US19900512779; заявл. 1990-04-20; опубл. 1993-04-06.

128. Борщенко Я. А. Разработка метода диагностирования автомобильных дизелей по неравномерности вращения коленчатого вала: Дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. Тюмень, 2003.

129. Центр технического оборудования. Электронный ресурс URL <https://centr-to.ru/blog/obshchegarazhnoe-oborudovanie/opory-dlya-dvigatelya>. Дата обращения 08.08.2025

130. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023686517 Российская Федерация. Программа обработки данных, измерительного прибора «Вибротест-МГ4», полученных при проведении вибродинамических испытаний : № 2023682871 : заявл. 01.11.2023 : опубл. 07.12.2023 / А. Е. Голых, Д. В. Фомин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Амурский государственный университет». – EDN GBRMQP.

131. Каптелин С. Ю., Кузнецова И. О. Измерение динамических характеристик мостовых сооружений виброанализатором «Вибран-3» // БРНИ. 2013. №1-2 (6-7). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmerenie-dinamicheskikh-harakteristik-mostovyh-sooruzheniy-vibroanalizatorom-vibran-3> (дата обращения: 07.08.2025).

132. Ус, С. С. Применение цифровой инклинометрии при технической диагностике опор двигателя / С. С. Ус, Е. Е. Кузнецов, С. В. Щитов // Актуальные вопросы развития аграрного сектора экономики Байкальского региона : материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной Дню Российской науки, Улан-Удэ, 04–10 февраля 2021 года. – Улан-Удэ: Бурятская

государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова, 2021. – С. 117-120. – EDN PXCBS.

133. Ус, С. С. Применение цифровой инклинометрии для диагностики системы зажигания двигателя / С. С. Ус, М. В. Черноус // Молодёжь XXI века: шаг в будущее : Материалы XXII региональной научно-практической конференции, Благовещенск, 20 мая 2021 года. – Благовещенск: Благовещенский государственный педагогический университет, 2021. – С. 827-828. – EDN SFRIKR.

134. Ус, С. С. Высокоточная цифровая инклинометрическая диагностика ходовой части легкового автомобиля / М. В. Черноус, С. С. Ус // Молодёжь XXI века: шаг в будущее : Материалы XXII региональной научно-практической конференции, Благовещенск, 20 мая 2021 года. – Благовещенск: Благовещенский государственный педагогический университет, 2021. – С. 831-832. – EDN GYKINT.

135. Система для регистрации и обработки индикаторных диаграмм: пат. 954839 А1 SU. /№ 3241786/25-06 . - 26.01.1981; заявл. 30.08.1982; опубл.

136. Мельник В. И., Парамонов А. В. Выделение систематических ошибок в бортовых измерениях с использованием нейронных сетей при контроле тех состояния двухконтурного турбореактивного двигателя // Авиационная промышленность. 2007. №4. С. 58-63.

137. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: Пер. с фран. – М.: Мир. 1983. – Т.1. – 312 с

138. Серобабин А.Т., Соколенко А.К. Предварительное преобразование акустических сигналов в системах распознавания. - Материалы 1У Всесоюзной конференции «Математические методы распознавания образов», Рига, 1989, -С. 129-132.

139. Кузнецов Е. С. и др. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник[Текст] – М.: Транспорт, 1991.-536 с.

140. Hulten J. Development of intelligent systems / Хултен Дж. Разработка интеллектуальных систем. М.: ДМК Пресс, 2019, 284 с.

141. Разработка программного обеспечения и алгоритмика диагностического приборного комплекса на основе 3-х осевого инклинометра / С.

С. Ус, А. И. Гончарук, В. Н. Ковалевский, Е. Е. Кузнецов // Состояние и инновации технического сервиса конструкций, машин и оборудования : Материалы XVI международной научно-практической конференции, посвященной 80-ти летию Инженерного института, Новосибирск, 13–15 ноября 2024 года. – Новосибирск: ИЦ НГАУ "Золотой колос", 2024. – С. 137-141. – EDN HIZQK.

142. Применение современных методов 3D-визуализации для анализа производственных процессов в агропромышленном комплексе / С. С. Ус, Е. Е. Кузнецов, З. Ф. Кривуца, Т. В. Шарипова // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : материалы всероссийской научно-практической конференции, Благовещенск, 20–21 апреля 2023 года. Том 2. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2023. – С. 253-259. – DOI 10.22450/9785964205401_2_253. – EDN JTRUFM.

143. 3D-моделирование и исследование перспективных средств механизации / Р. О. Сурин, С. С. Ус, Е. Е. Кузнецов, С. В. Щитов // Актуальные вопросы автомобильного транспорта (Ават-2022) : Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Барнаул, 15–16 декабря 2022 года. – Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2023. – С. 51-55. – EDN MTVZAU.

144. Ус, С. С. Применение перспективных цифровых способов анализа работы агрегатов и 3D-аддитивных технологий в АПК / С. С. Ус, А. Н. Щитков, Е. Е. Кузнецов // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы X Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 90-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Терских Ивана Петровича, Молодёжный, 06–08 октября 2022 года / Редколлегия: Н.Н. Дмитриев [и др.]. – Молодёжный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2022. – С. 298-305. – EDN GGHDAK.

145. Адаптация приборного диагностического комплекса к проведению исследований колесных тракторов / С. С. Ус, В. И. Худолец, В. А. Мунгалов, Е. Е. Кузнецов // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития :

материалы всероссийской научно-практической конференции, посвященной 75-летию Дальневосточного государственного аграрного университета. В 3 т., Благовещенск, 16–17 апреля 2025 года. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2025. – С. 388-394. – DOI 10.22450/978-5-9642-0480-0-388-394. – EDN XRSAUF.

146. Кокиева, Г. Е. Исследование планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта МТП / Г. Е. Кокиева // Столыпинский вестник. – 2024. – Т. 6, № 9. – EDN EFQUOE.

147. Аллилуев В. А. и др. Техническая эксплуатация машинно-тракторного парка/В. А. Аллилуев, А. Д. Ананьин, В. М. Михлин. — М.: Агропромиздат, 1991. - 367 с.

148. Аллилуев В.А., Ждановский Н.С., Николаенко А.В. Техническая диагностика тракторов и зерноуборочных комбайнов. М.: Колос, 1978. - 287 с.

149. Щитков, А. Н. Применение цифровых методов фиксации данных для диагностики устройства стабилизации движения сельскохозяйственной машины / А. Н. Щитков, С. С. Ус // Молодёжь XXI века: шаг в будущее : Материалы XXIII региональной научно-практической конференции, Благовещенск, 24 мая 2022 года. Том 4. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2022. – С. 35-37. – EDN NIUSTY.

150. Ус, С. С. Применение цифровой инклинометрии для определения эффективности перспективных устройств и модулей / С. С. Ус, А. Н. Щитков // Молодёжь XXI века: шаг в будущее : Материалы XXIII региональной научно-практической конференции, Благовещенск, 24 мая 2022 года. Том 4. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2022. – С. 29-31. – EDN NDXIGA.

151. ГОСТ 32108-2013. Вибрация. Измерения вибрации, передаваемой машиной через упругие изоляторы. Двигатели внутреннего сгорания поршневые высокоскоростные среднескоростные.

152. Результаты экспериментальных исследований по определению технического состояния амортизаторов передней подвески «MacPherson» легковых

автомобилей / В. Н. Ковалевский, Е. Е. Кузнецов, В. В. Самуйло, С. С. Ус // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : материалы всероссийской научно-практической конференции, посвященной 75-летию Дальневосточного государственного аграрного университета. В 3 т., Благовещенск, 16–17 апреля 2025 года. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2025. – С. 299-304. – DOI 10.22450/978-5-9642-0480-0-299-304. – EDN PAXHFD.

153. Обеспечение инклинометрических исследований технологических процессов, объектов механизации и оборудования в АПК / С. С. Ус, К. Е. Кузнецов, Т. В. Шарипова, Е. Е. Кузнецов // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : Материалы международной научно-практической конференции. В 5 томах, Благовещенск, 18–19 апреля 2024 года. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2024. – С. 247-255. – DOI 10.22450/978-5-9642-0633-0-247-255. – EDN HRKZXD.

154. Экспериментальное подтверждение эффективности применения высокоточных инклинометров для проведения замера колебательных характеристик коробки передач трактора / С. С. Ус, Е. В. Маршанин, Е. Е. Кузнецов, А. И. Гончарук // Развитие современной аграрной науки: актуальные вопросы, достижения и инновации : международная научно-практическая конференция, посвященная памяти заслуженного деятеля науки РСФСР, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Петра Григорьевича Лучкова, Нальчик, 08 февраля 2024 года. – Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова, 2024. – С. 130-134. – EDN WGYHET.

155. Современное состояние методов диагностирования технических параметров колёсных энергетических средств и концептуальные направления их развития / С. С. Ус, А. С. Безруков, Е. В. Лоскутова [и др.] // Развитие науки и технологий в современной России : Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 31 мая 2025 года. – Москва: Знание-М, 2025. – С. 595-601. – EDN XZPQCS.

156. Применение современных цифровых приборов для фиксации параметров движения сельскохозяйственных агрегатов / С. С. Ус, Е. В. Маршанин, К. Е. Кузнецов [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 8. – С. 147-154. – DOI 10.28983/asj.y2023i8pp147-154. – EDN ZBRLHT.

157. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025680379 Российская Федерация. Программа для инклинометрической диагностики опор двигателя внутреннего сгорания : заявл. 26.06.2025 : опубл. 05.08.2025 / С. С. Ус, Е. Е. Кузнецов, Д. В. Беляков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет». – EDN FXNVGX.

158. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025680051 Российская Федерация. Программа для инклинометрической диагностики газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания : заявл. 26.06.2025 : опубл. 01.08.2025 / С. С. Ус, Е. Е. Кузнецов, Д. В. Беляков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет». – EDN YSQUIUO.

159. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025669818 Российская Федерация. Программа для инклинометрической диагностики кривошипно-шатунного механизма двигателя внутреннего сгорания : заявл. 26.06.2025 : опубл. 31.07.2025 / С. С. Ус, Е. Е. Кузнецов, Д. В. Беляков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет». – EDN JUWBHW.

160. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025662808 Российская Федерация. Программа для комплекса безразборной вибрационной диагностики ВИБРУМ : заявл. 13.05.2025 : опубл. 23.05.2025 / С. С. Ус, Е. Е. Кузнецов ; заявитель ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ВИБРУМ". – EDN QHVFBF.

161. Использование аддитивных технологий для восстановления деталей сельскохозяйственной и автомобильной техники / Н. А. Акимов, А. В. Лисицкий, Д. С. Соколов [и др.] // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : материалы всероссийской научно-практической конференции. В 3 т., Благовещенск, 16–17 апреля 2025 года. – Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2025. – С. 233-239. – DOI 10.22450/978-5-9642-0480-0-233-239. – EDN PMHTAD.

162. Bambulab FAQs before purchase URL: <https://bambulab.com/en/support/buying-guide?page=5&id=906568082803286016>
.Электронный ресурс. (Дата обращения: 16.11.2025)

163. Применение математических методов для разработки ответственных элементов современного диагностического приборного комплекса / С. С. Ус, А. С. Безруков, Е. В. Лоскутова [и др.] // Развитие науки и технологий в современной России: Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 31 мая 2025 года. – Москва: Знание-М, 2025. – С. 588-594. – EDN LPXFVM.

164. Investigation of the motion parameters of technological complexes using a quaternion data fixation apparatus / S. Us, E. Kuznetsov, S. V. Shchitov [et al.] // E3S Web of Conferences : International Scientific Siberian Transport Forum - TransSiberia 2023, Novosibirsk, Russia, 16–19 мая 2023 года. Vol. 402. – Novosibirsk, Russia: EDP Sciences, 2023. – P. 03002. – DOI 10.1051/e3sconf/202340203002. – EDN MKONKD.

165. Ус, С. С. Обоснование способа исследования характеристик движения тракторно-транспортного агрегата / С. С. Ус, К. Е. Кузнецов, Е. Е. Кузнецов // Актуальные вопросы автомобильного транспорта (АВАТ-2023) : Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Барнаул, 15 декабря 2023 года. – Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2024. – С. 124-127. – EDN UXDPKY.

166. Исследование параметров движения колёсных сельскохозяйственных агрегатов применением кватернионного аппарата фиксации данных / С. С. Ус, Е. Е.

Кузнецов, С. В. Щитов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1(105). – С. 142-148. – EDN PZXIRY.

167. Применение современных цифровых комплексов в сельском хозяйстве / С. С. Ус, Е. Е. Кузнецов, С. В. Щитов [и др.] // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования : Материалы XV международной научно-практической конференции, посвященной памяти доцента М.А. Анфиногенова, Новосибирск, 09–11 ноября 2023 года. – Новосибирск: Издательский центр НГАУ "Золотой колос", 2023. – С. 150-155. – EDN ULZNWT.

168. Ус, С. С. Перспективный комплекс инклинометрической безразборной диагностики транспортно-технологических машин и комплексов / С. С. Ус [и др.]// // Актуальные вопросы автомобильного транспорта (ават-2022) : Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Барнаул, 15–16 декабря 2022 года. – Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2023. – С. 92-96. – EDN UWIGST.

169. Методика проведения диагностирования элементов передней подвески типа «Mcpherson» ходовой части легковых автомобилей с применением инклинометрического комплекса / С. С. Ус [и др.]// Глобальные научные тенденции: интеграция и инновации: сборник статей X Международной научнопрактической конференции. – Саратов: НОП «Цифровая наука». – 2025. – 202 с.

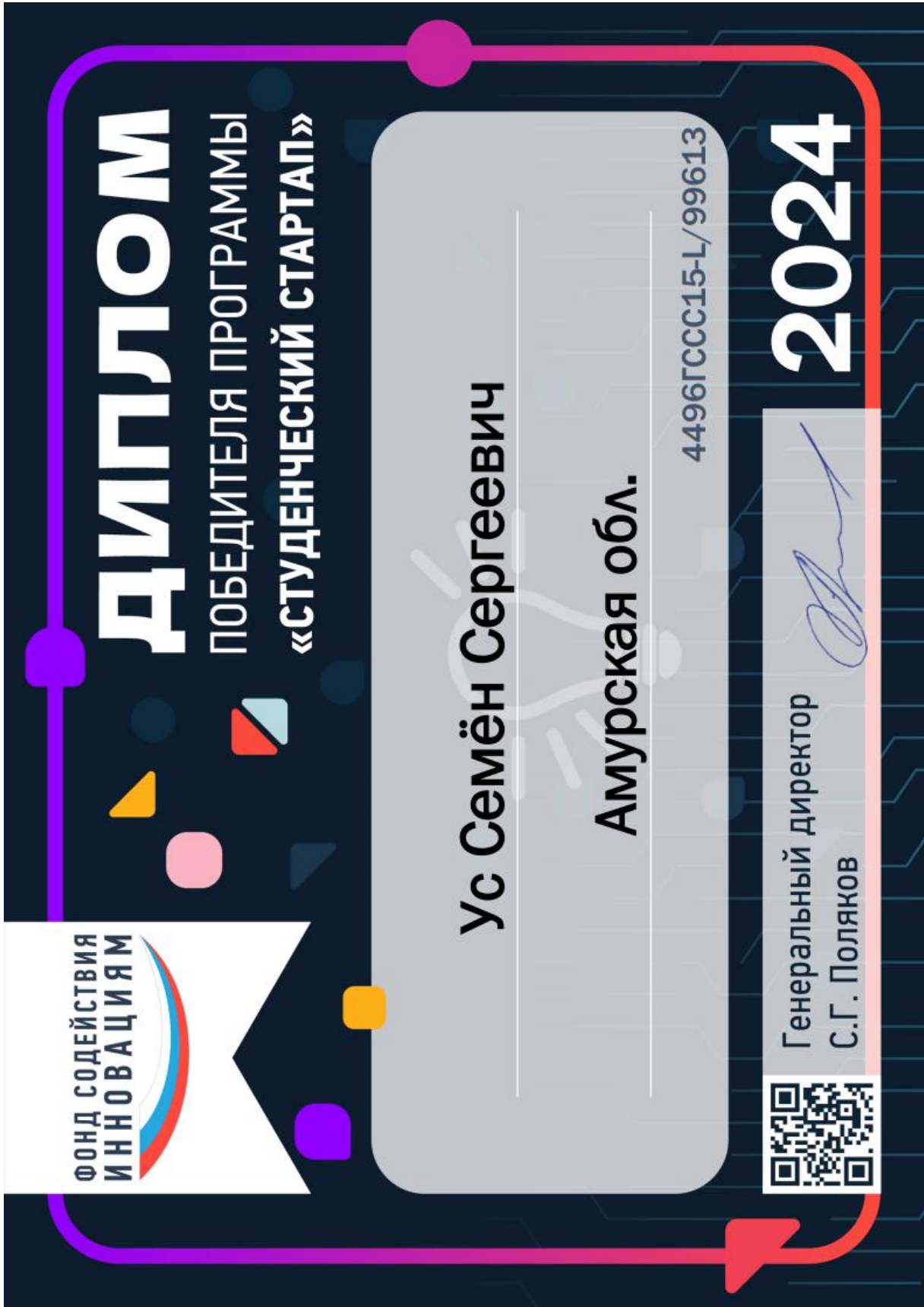
170. Результаты экспериментальных исследований по диагностированию элементов передней подвески типа «Mcpherson» ходовой части легковых автомобилей с применением инклинометрического комплекса / С. С. Ус [и др.]// Научный прогресс и устойчивое развитие : Сборник статей Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Владивосток, 17 апреля 2025 года. – Санкт-Петербург: ООО Издательский дом "Сциентиа", 2025. – С. 99-103. – EDN JJXXFA.

171. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. Ч. 1. – М., 1998. – 217 с.

172. Методика топливно – энергетической оценки производства продукции растениеводства. – М.: ВИМ, 2012. – 84 с.

173. Методические рекомендации по топливно-энергетической оценке сельскохозяйственной техники, технологических процессов и технологий в растениеводстве. – М.: ВИМ, 1989. – 71 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ



АКТ № 2
о выполнении Работ
по Договору (Соглашению) № 4496ГССС15-L/99613 от 12.12.2024 г.

г. Москва

22 августа 2025 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям), далее именуемый «Фонд», в лице заместителя генерального директора Жижина Андрея Степановича, действующего на основании доверенности № 76f44e53-aff1-4edd-8970-9562b7857ad1 от 11.09.2024 г., с одной стороны, и гражданин Российской Федерации Ус Семён Сергеевич, далее именуемый «Получатель гранта», с другой стороны, составили настоящий акт о нижеследующем:

Работы, выполненные Получателем гранта за отчетный период на 2 (втором) этапе по теме «Разработка многофункционального цифрового комплекса для проведения высокоточных измерений объектов машиностроения», соответствуют Техническому заданию на выполнение Работ и Календарному плану выполнения Работ, отчетная документация оформлена в надлежащем порядке.

Краткое описание выполненных Работ:

1. Изготовлены защитные корпуса датчиков и кейсов для хранения датчиков системы контроля вибрационной нагрузки на узлах машин для использования в процессе их эксплуатации с использованием технологий 3D печати.
2. Разработан прототип функциональной части программного обеспечения для сравнения показаний датчиков системы контроля вибрационной нагрузки на узлах машин для использования в процессе их эксплуатации.
3. Интегрировано программное обеспечение с аппаратной частью системы контроля вибрационной нагрузки на узлах машин для использования в процессе их эксплуатации для калибровки точности измерений.
4. Протестирована система контроля вибрационной нагрузки на узлах машин для использования в процессе их эксплуатации.
5. Создан сайт стартап-проекта.

Обязательства, указанные в пункте 4.1 Договора (Соглашения), за отчетный период Получателем гранта исполнены надлежащим образом и в полном объеме.

Размер гранта по Договору (Соглашению) составляет
1 000 000 (Один миллион) рублей 00 копеек.

Сумма гранта, перечисленная Грантополучателю, составила
1 000 000 (Один миллион) рублей 00 копеек.

Объем финансирования выполненных Работ по Договору (Соглашению) за счет средств гранта составляет
1 000 000 (Один миллион) рублей 00 копеек.





Министерство
экономического развития
и внешних связей
Амурской области



ОБЛАСТНОЙ РЕЕСТР ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

	полетного контроллера «ТРБ-БПЛА»		внесение инновационного проекта в областной реестр инновационных проектов от 06.06.2024 № 1		российском микропроцессор, программируемый полет, компьютерное зрение.	
4.	Лаборатория разработки образовательных технологий дополненной и виртуальной реальности	25.12.2024	Приказ министерства экономического развития и внешних связей Амурской области от 25.12.2024 № 303-Пр	004-24	Разработка программного обеспечения для обучения при помощи технологий дополненной и виртуальной реальности	Лунёв Кирилл Александрович
5.	Разработка многофункционального цифрового комплекса для проведения высокоточных измерений объектов машиностроения	25.12.2024	Приказ министерства экономического развития и внешних связей Амурской области от 25.12.2024 № 303-Пр	005-24	Приборный комплекс для измерения вибрационных нагрузок, программное обеспечение для Windows, IOS и Andriod	Ус Семен Сергеевич, ООО «Вибрум»



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

БашГАУ

ДИПЛОМ

Лауреата

*III этапа Всероссийского конкурса
на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов
и молодых ученых аграрных образовательных и научных
организаций России
в номинации «Машины и оборудование для АПК»*

награждается

Ус Семён Сергеевич

(научный рук. – д.т.н., профессор Кузнецов Е.Е.)

обучающийся ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ



Handwritten signature

Уфа, 15-16 мая 2025 г.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025662808

**Программа для комплекса безразборной вибрационной
диагностики ВИБРУМ**

Правообладатель: **ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ВИБРУМ" (RU)**

Авторы: **Ус Семён Сергеевич (RU), Кузнецов Евгений
Евгеньевич (RU)**

Заявка № 2025661509

Дата поступления **13 мая 2025 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **23 мая 2025 г.**



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Документ подписан электронной подписью
Сертификат: 069287819e300e1542941610b0cc2006
Владелец: **Зубов Юлий Сергеевич**
Действителен с 18.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2025662808**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства): 2025662808 Дата регистрации: 23.05.2025 Номер и дата поступления заявки: 2025661509 13.05.2025 Дата публикации и номер бюллетеня: 23.05.2025 Бюл. № 6	Автор(ы): Ус Семён Сергеевич (RU), Кузнецов Евгений Евгеньевич (RU) Правообладатель(и): ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ВИБРУМ" (RU)
--	---

Название программы для ЭВМ:

Программа для комплекса безразборной вибрационной диагностики ВИБРУМ

Реферат:

Программа предназначена для комплекса безразборной вибрационной диагностики, устанавливаемого на объекты промышленности, имеющие детали вращения. Программа может использоваться в промышленности для определения вибрационной нагрузки и общего отклонения объектов. Функциональные возможности программы заключаются в загрузке и сравнении двух файлов в расширении .txt с данными, полученными от комплекса безразборной вибрационной диагностики, выдаче рекомендаций по дальнейшей работе с обследуемым объектом: определение необходимости срочных ремонтных мероприятий и составлении сравнительных графиков углового ускорения, угловой скорости и угла наклона.

Язык программирования: Python

Объем программы для ЭВМ: 414 КБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025680051

Программа для инклинометрической диагностики газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет» (RU)*

Авторы: *Ус Семён Сергеевич (RU), Кузнецов Евгений Евгеньевич (RU), Беляков Дмитрий Владимирович (RU), Михайлов Андрей Валентинович (RU), Гончарук Алексей Иванович (RU), Сурин Роман Олегович (RU)*

Заявка № **2025668809**

Дата поступления **26 июня 2025 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **01 августа 2025 г.**



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

документ подписан электронной подписью
Сертификат 0492e761e6300f5442401670bca2026
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.01.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2025680051**

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

<p>Номер регистрации (свидетельства): 2025680051</p> <p>Дата регистрации: 01.08.2025</p> <p>Номер и дата поступления заявки: 2025668809 26.06.2025</p> <p>Дата публикации и номер бюллетеня: 01.08.2025 Бюл. № 8</p> <p>Контактные реквизиты: 84162995144, 84162999998; info@dalgau.ru</p>	<p>Автор(ы): Ус Семён Сергеевич (RU), Кузнецов Евгений Евгеньевич (RU), Беляков Дмитрий Владимирович (RU), Михайлов Андрей Валентинович (RU), Гончарук Алексей Иванович (RU), Сури́н Роман Олегович (RU)</p> <p>Правообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет» (RU)</p>
--	--

Название программы для ЭВМ:

Программа для инклинометрической диагностики газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания

Реферат:

Программа предназначена для инклинометрической вибрационной диагностики газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания. Функциональные возможности программы заключаются в загрузке и сравнении двух файлов в расширении .txt с данными, полученными от комплекса безразборной вибрационной диагностики, выдаче рекомендаций по дальнейшей работе с изучаемым объектом: определение необходимости замены ремонта механизма газораспределения и составлении сравнительных графиков углового ускорения, угловой скорости и угла наклона. Программа может использоваться в сельском хозяйстве и в автотранспорте для определения диагностических параметров газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания. Тип ЭВМ: IBM PC - совмест. ПК; ОС: Windows.

Язык программирования: Python

Объем программы для ЭВМ: 26,8 КБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025669818

Программа для инклинометрической диагностики кривошипно-шатунного механизма двигателя внутреннего сгорания

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет» (RU)*

Авторы: *Ус Семён Сергеевич (RU), Кузнецов Евгений Евгеньевич (RU), Беляков Дмитрий Владимирович (RU), Михайлов Андрей Валентинович (RU), Гончарук Алексей Иванович (RU), Сурин Роман Олегович (RU)*

Заявка № 2025668841

Дата поступления 26 июня 2025 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 31 июля 2025 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0692e7c1a0b300b1b4f2401670bca2026
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2025669818**

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

<p>Номер регистрации (свидетельства): 2025669818</p> <p>Дата регистрации: 31.07.2025</p> <p>Номер и дата поступления заявки: 2025668841 26.06.2025</p> <p>Дата публикации и номер бюллетеня: 31.07.2025 Бюл. № 8</p> <p>Контактные реквизиты: 84162995144; 84162999998 info@dalgau.ru</p>	<p>Автор(ы): Ус Семён Сергеевич (RU), Кузнецов Евгений Евгеньевич (RU), Беляков Дмитрий Владимирович (RU), Михайлов Андрей Валентинович (RU), Гончарук Алексей Иванович (RU), Сури́н Роман Олегович (RU)</p> <p>Правообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет» (RU)</p>
---	--

Название программы для ЭВМ:

Программа для инклинометрической диагностики кривошипно-шатунного механизма двигателя внутреннего сгорания

Реферат:

Программа предназначена для инклинометрической вибрационной диагностики кривошипно-шатунного механизма двигателя внутреннего сгорания. Функциональные возможности программы заключаются в загрузке и сравнении двух файлов в расширении .txt с данными, полученными от комплекса безразборной вибрационной диагностики, выдаче рекомендаций по дальнейшей работе с изучаемым объектом: определение необходимости ремонта кривошипно-шатунного механизма и составлении сравнительных графиков углового ускорения, угловой скорости и угла наклона. Программа может использоваться в сельском хозяйстве и в автотранспорте для проведения инклинометрической диагностики кривошипно-шатунного механизма двигателя внутреннего сгорания. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК, ОС: Windows 2007/2011.

Язык программирования: Python

Объем программы для ЭВМ: 26,8 КБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025680379

**Программа для инклинометрической диагностики опор
двигателя внутреннего сгорания**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный государственный аграрный
университет» (RU)*

Авторы: *Ус Семён Сергеевич (RU), Кузнецов Евгений Евгеньевич
(RU), Беляков Дмитрий Владимирович (RU), Михайлов
Андрей Валентинович (RU), Гончарук Алексей Иванович
(RU), Сурин Роман Олегович (RU)*

Заявка № 2025668789

Дата поступления 26 июня 2025 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 05 августа 2025 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

документ подписан электронной подписью
Сертификат: 0492e7e1a6300b5442640670bca202a
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2025680379**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

<p>Номер регистрации (свидетельства): 2025680379</p> <p>Дата регистрации: 05.08.2025</p> <p>Номер и дата поступления заявки: 2025668789 26.06.2025</p> <p>Дата публикации и номер бюллетеня: 05.08.2025 Бюл. № 8</p> <p>Контактные реквизиты: 84162995144; 84162999998; info@dalgau.ru</p>	<p>Автор(ы): Ус Семён Сергеевич (RU), Кузнецов Евгений Евгеньевич (RU), Беляков Дмитрий Владимирович (RU), Михайлов Андрей Валентинович (RU), Гончарук Алексей Иванович (RU), Сури́н Роман Олегович (RU)</p> <p>Правообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет» (RU)</p>
--	--

Название программы для ЭВМ:

Программа для инклинометрической диагностики опор двигателя внутреннего сгорания

Реферат:

Программа предназначена для инклинометрической вибрационной диагностики опор двигателя внутреннего сгорания. Функциональные возможности программы заключаются в загрузке и сравнении двух файлов в расширении .txt с данными, полученными от комплекса безразборной вибрационной диагностики, выдаче рекомендаций по дальнейшей работе с изучаемым объектом: определение необходимости замены опор двигателя и составлении сравнительных графиков углового ускорения, угловой скорости и угла наклона. Программа может использоваться в сельском хозяйстве и в автотранспорте для диагностики опор двигателя внутреннего сгорания. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК; ОС: Windows 2007/2011.

Язык программирования: Python

Объем программы для ЭВМ: 26,5 КБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025684379

Программа инклинометрической проверки качества сборки колёсного технологического агрегата, прошедшего капитальный ремонт

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (RU)*

Авторы: *Ус Семён Сергеевич (RU), Кузнецов Евгений Евгеньевич (RU), Беляков Дмитрий Владимирович (RU), Михайлов Андрей Валентинович (RU), Гончарук Алексей Иванович (RU), Сурин Роман Олегович (RU)*

Заявка № 2025682508

Дата поступления 29 июля 2025 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 15 сентября 2025 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

документ подписан электронной подписью

Сертификат 0e92e7e106300b544240f670bca2024

Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**

Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU

2025684379ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

<p>Номер регистрации (свидетельства): <u>2025684379</u></p> <p>Дата регистрации: 15.09.2025</p> <p>Номер и дата поступления заявки: 2025682508 29.07.2025</p> <p>Дата публикации и номер бюллетеня: <u>15.09.2025</u> Бюл. № 9</p> <p>Контактные реквизиты: 84162995144; 84162999998, info@dalgau.ru</p>	<p>Авторы: Ус Семён Сергеевич (RU), Кузнецов Евгений Евгеньевич (RU), Беляков Дмитрий Владимирович (RU), Михайлов Андрей Валентинович (RU), Гончарук Алексей Иванович (RU), Сурич Роман Олегович (RU)</p> <p>Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (RU)</p>
---	--

Название программы для ЭВМ:

Программа инклинометрической проверки качества сборки колёсного технологического агрегата, прошедшего капитальный ремонт**Реферат:**

Программа предназначена для инклинометрической вибрационной диагностики качества сборки колесного технологического агрегата, прошедшего капитальный ремонт. Функциональные возможности программы заключаются в загрузке и сравнении двух файлов в расширении .txt с данными, полученными от комплекса безразборной вибрационной диагностики, выдаче рекомендаций по дальнейшей работе с исследуемым объектом: определение качества сборки колесного технологического агрегата, прошедшего капитальный ремонт, и составлении сравнительных графиков углового ускорения, угловой скорости и угла наклона. Программа может использоваться в сельском хозяйстве и в автотранспорте для проверки качества сборки колесного технологического агрегата, прошедшего капитальный ремонт. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК; ОС: Windows 7/11.

Язык программирования: Python**Объем программы для ЭВМ:** 34,3 КБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2025683722

**Программа получения экспериментальных данных
модернизированного колёсного агрегата при
использовании инклинометрического комплекса**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ» (RU)*

Авторы: *Ус Семён Сергеевич (RU), Кузнецов Евгений Евгеньевич
(RU), Гончарук Алексей Иванович (RU), Михайлов Андрей
Валентинович (RU), Соколов Максим Сергеевич (RU), Беляков
Дмитрий Владимирович (RU), Сурин Роман Олегович (RU)*

Заявка № 2025682523

Дата поступления 29 июля 2025 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 05 сентября 2025 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

документ подписан электронной подписью
Сертификат: 0492e7e1e6300b54426401670bca2024
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2025683722**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

<p>Номер регистрации (свидетельства): 2025683722</p> <p>Дата регистрации: 05.09.2025</p> <p>Номер и дата поступления заявки: 2025682523 29.07.2025</p> <p>Дата публикации и номер бюллетеня: 05.09.2025 Бюл. № 9</p> <p>Контактные реквизиты: 84162995144; 84162999998, info@dalgau.ru</p>	<p>Автор(ы): Ус Семён Сергеевич (RU), Кузнецов Евгений Евгеньевич (RU), Гончарук Алексей Иванович (RU), Михайлов Андрей Валентинович (RU), Соколов Максим Сергеевич (RU), Беляков Дмитрий Владимирович (RU), Сури́н Роман Олегович (RU)</p> <p>Правообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (RU)</p>
--	---

Название программы для ЭВМ:

Программа получения экспериментальных данных модернизированного колёсного агрегата при использовании инклинометрического комплекса

Реферат:

Программа предназначена для безразборной инклинометрической диагностики модернизированного колёсного агрегата. Функциональные возможности программы заключаются в загрузке и сравнении двух файлов в расширении .txt с данными, полученными от комплекса безразборной вибрационной диагностики, выдаче рекомендаций по дальнейшей работе с изучаемым объектом: определение эффективности работы внедряемых в колёсный агрегат модернизаций и составлении сравнительных графиков углового ускорения, угловой скорости и угла наклона. Программа может использоваться в сельском хозяйстве и в автотранспорте для определения вибрационной нагрузки модернизированного колёсного агрегата. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК. ОС: Windows 2007/2010.

Язык программирования: Python

Объем программы для ЭВМ: 26,1 КБ

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО
«Дальневосточный ГАУ»

П.В. Биханчук

«23» июня 2015 г.
М.П.



«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель организации

Ю.А. Раичковская

«8» июля 2015 г.
М.П.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Дальневосточного государственного аграрного университета *Кузнецов Евгений Евгеньевич, Ис Семен Сергеевич, Мурадов Алексей Александрович*

и представители ООО «Техностика» *Раичковская Наталья Алексеевна - генеральный директор, Вакина Ольга Сергеевна - бухгалтер*

составили настоящий акт о том, что в период 2014-2015 г.г. в результате проведения научно-исследовательских работ по теме:

Разработка и обоснование способа использования технического свободной энергетических сред
в процессе внедрения были выполнены следующие работы: *определение тех свободной среды, к ним, опр СВС, КПП, силовых мощностей, гидродросселирование, гидротрансформаторы*
КамАЗ-6520, КамАЗ-45-143, КамАЗ-55-111
экономический эффект составил *34156 руб на единицу произведенной техники*

Предложения по дальнейшему внедрению результатов:

Рекомендовать *к внедрению в технологию двигателей, сельхоз и ремонт автомобильной техники*

Представители ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ

Проректор ЗСД - С.С. Кузнецов -
Сек. - С.С. Ис -
Исч. Ичч - П.В. Биханчук -

Представители предприятия

Бухг
Ваш Вакина О.С.

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ

П.В.Тихончук

«28» июня 2025 г.

М.П.



«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель организации

Саймон Шамов



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ Круцева Евгения Евгеньевна, Ле Салом Сергеевна, Мурашов Алексей Александрович и представители АО, Дальтизматериал "Сложная" Валетич Владимирovich, Рабдан Дусарбаев Александрович, Дурович Василий Сергеевич

составили настоящий акт о том, что в период 2024-2025 г.г. в результате проведения научно-исследовательских работ по теме:

Разработка и обоснование способов исследования химического состава энергетических сред в процессе внедрения были выполнены следующие работы: определение химического состава сыпучих материалов и КИМ РВС, контроль передачи, сыпучих масс, и др. процессы, гидропереработка белых порошков трайбола Zoomlion P42304, Zoomlion RS1604 Pro, Zoomlion RN 904 Pro экономический эффект составил 32604 руб - Zoomlion P42304, 28255 руб - Zoomlion RS1604 Pro, 24849 руб - Zoomlion RN 904 Pro

Предложения по дальнейшему внедрению результатов: рекомендовать и внедрить в технологию сварочных аппаратов и ремонт трайбола и автомобильной техники

Представители ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ

траф. ФГУ - Круцева Е.
асп. - Салом С.
нач. ИЧ - Мурашов А.

Представители предприятия

руковод. - Рабдан Д.
участ. - Дурович В.

«УТВЕРЖДАЮ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ

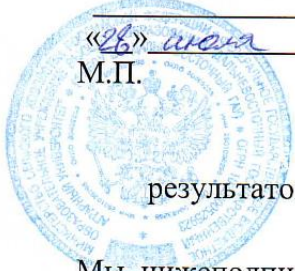
Руководитель организации

П.В. Тихончук П.В. Тихончук

С.С. Чусов *С.С. Чусов*

«26» *мая* 2025 г.
М.П.

«21» *мая* 2025 г.
М.П.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ *Кузнецов Евгений Евгеньевич, Чусов Сергей Сергеевич, Муратов Алексей Александрович* и представители *ОО, Дальний Восток Самостоятельная Восточная Владимирова, Байбаков Дмитрий Александрович, Дудоровский Владимир Сергеевич* составили настоящий акт о том, что в период *2024-2025* г.г. в

результате проведения научно-исследовательских работ по теме: *Разработка и совершенствование способов диагностики в техническом сообществе средств гидротехнических средств* в процессе внедрения были выполнены следующие работы: *определение технического состояния системы питания, кпп, сцеп ДВС, КП, силосных носов, гидронасоса гидротрансформатора, карьерный самосвал SANY SKT405S, трактор SANY D250A, самосвал SANY SYZ300C-8S, SANY SYZ430C-8S* экономический эффект составил *5180 руб. на каждую единицу обследованной техники*

Предложения по дальнейшему внедрению результатов: *Рекомендовать к внедрению в технологию диагностики, обслуживания, сервиса и ремонта тракторной и автомобильной техники*

Представители ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ
Кузнецов Е.Е.
Чусов С.С.
Муратов Д.В.

Представители предприятия
Байбаков Д.
Дудоровский В.

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ
П.В. Тихончук

П.В. Тихончук
2025 г.
М.П.



«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель организации



Ю. В. Луцкий

2025 г.
М.П.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ *Курдюков Евгений Евгеньевич, Се Семён Сергеевич, Муратов Алексей Александрович* и представители АО «Лужь» - *Семёнов Александр Иванович, Кудря Илья Александрович*

составили настоящий акт о том, что в период 2024-2025 г.г. в результате проведения научно-исследовательских работ по теме:

Разработка и обособление способа усовершенствования технического состояния колесного трактора в процессе внедрения были выполнены следующие работы: определение технического состояния КПП двигателя коробки переменной передачи, силовых шестов, гидронасоса, гидрораспределителя, опор двигателя колесного трактора NewHolland-585. Итогом работы безразборной диагностики в ходе работ экономический эффект составил 30445 рублей на тракторную единицу в год

Предложения по дальнейшему внедрению результатов: *Сфокусировать к внедрению в технологию диагностики, обслуживания и ремонта тракторной и автомобильной техники*

Представители ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ
С.С. Семенов
А.А. Муратов

Представители предприятия
Семёнов А.И.
Кудря И.А.

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ
П.В.Тихончук

П.В.Тихончук
«*23*» *июня* 202*5* г.
М.П.



«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель организации

А.И.Мухоморов
«*24*» *июня* 202*5* г.
М.П.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Дальневосточный

ГАУ *Кузнецов Евгений Евгеньевич Семенов*

Сергейвич, Муратов Алексей Александрович

и представители *АО «МУЧ» - Семенов Александр*

Иванович, Куба Иван Александрович

составили настоящий акт о том, что в период *2024 - 2025* г.г. в

результате проведения научно-исследовательских работ по теме:

Разработка и обоснование способа исследования

технологического состояния колесного трактора

в процессе внедрения были выполнены следующие работы: *определение*

технологического состояния КШМ двигателя, коробки

передачи, гидромасла, элементов шестов

гидрораспределителя, колесного трактора Брайер-

345 методом безразборной диагностики в ходе работ

экономический эффект составил *58844* рублей на

тракторную единицу в год

Предложения по дальнейшему внедрению результатов: *Секретарь*

к внедрению в технологическую диагностику ремонта

и обслуживания тракторной и автомобильной техники

Представители ФГБОУ ВО

Дальневосточный ГАУ

С.С.Корсаков

С.С.Семенов

Мухоморов А.И.

Представители предприятия

Семенов А.И.

Куба И.А.

«УТВЕРЖДАЮ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ

Руководитель организации

П.В.Тихончук

П.В.Тихончук
«30» *июня* 2025 г.
М.П. 

А.И.Сидоров
«30» *июня* 2025 г.


АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ

Курмешов Евгений Евгеньевич, Семенов Сергей Сергеевич, Муратов Алексей Александрович

и представители *АО «Муз» - Семенов Александр Иванович, Гудов Иван Александрович*

составили настоящий акт о том, что в период *2024-2025* г.г. в результате проведения научно-исследовательских работ по теме:

Разработка и обоснование способа модернизации технического состояния колесного трактора

в процессе внедрения были выполнены следующие работы: *внедрение технического состояния шасси двигателя, коробки перемены передач, силового шасси, гидромашины, гидроаппарата, опор двигателя колесного трактора New Holland - методом безразборной диагностики в ходе работ экономический эффект составил 59640 рублей на категорию едущей обсервационной техники в год*

Предложения по дальнейшему внедрению результатов: *Рекомендовать к внедрению в технологию диагностики, обслуживания и ремонта тракторной и автомобильной техники*

Представители ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ

Представители предприятия

С.И.Сидоров
С.И.Сидоров
П.В.Тихончук

Сидоров А.И.
Гудов И.А.

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ
П.В. Тихончук

«02» августа 2025 г.
М.П.



«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель организации
дир. деп. ИТ Спецмашвосток Р.С.

«02» августа 2025 г.
М.П.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ Кузнецов Евгений Евгеньевич, Ле Сийен Серсевич, Муратов Алексей Александрович и представители Самшинов Павел Сергеевич, Костякин Владимир

составили настоящий акт о том, что в период 2024 - 2025 г.г. в результате проведения научно-исследовательских работ по теме:

Разработка и обеспечение системы исследования топливного состояния энергетических средств

в процессе внедрения были выполнены следующие работы: определение топливного состояния системы питания, КИМ, опер ДВС, КИМ двигателя автомобиля FAW CA3250P66K24T1E5

экономический эффект составил 52648 руб на категорию единицу обслуживаемой техники

Предложения по дальнейшему внедрению результатов: Рекомендовать к внедрению в качестве диагностики, обслуживания, сервиса и ремонта тракторной и автомобильной техники.

Представители ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ
Е.Е. Кузнецов
С.С. Ле
А.А. Муратов

Представители предприятия
заместитель генерального
директора ИТ Спецмашвосток
Самшинов Р.С.
В.В.



Алгоритмика проведения диагностической операции при применении ЦИКБД (на примере исследования транспортного агрегата)

При применении способа исследования характеристик движения транспортно-тракторного агрегата предварительно необходимо определить показатели эталонного ТТА по пяти точкам: в районе передней оси трактора, на задней оси трактора, на дышле (снице) прицепа, на передней оси прицепа, на задней оси прицепа, используя следующую схему:

1. Прибор необходимо закрепить в пяти точках тракторно-транспортного агрегата, для установки необходимо использовать методы при которых устройство будет надежно закреплено на поверхности, во избежание искажения показаний инклинометра, при помощи клейкой ленты, либо жёсткого соединения при помощи болтов.

2. Далее прибор подключается к персональному ЭВМ при помощи Bluetooth или USB кабель, с включенным фирменным программным обеспечением MINIMU.

3. Прибор калибруется по необходимым параметрам: угол наклона, угловую скорость, магнитное поле и кватернион.

4. Далее необходимо выставить исследуемый объект в нужное положение, и при помощи фирменного программного обеспечения MINIMU обнулить показания датчиков инклинометра.

5. Путём активации кнопки «Begin» в меню «Record» начинается запись данных и выполнение необходимых манипуляций с исследуемым ТТА.

6. По окончанию манипуляций с объектом исследования запись данных необходимо завершить путём нажатия кнопки «Stop» в меню «Record».

7. Записанные данные хранятся на персональном ЭВМ в указанной папке в формате *.txt, данные из данного формата для большего удобства переводятся в формат *.xlsx.

8. Из необходимых параметров выбираются интересующие данные, для дальнейшего сравнения результатов.

Таким образом способ исследования позволяет получить эталонные значения характеристик движения тракторно-транспортного агрегата.

Далее способ подразумевает снятие показаний с рабочего агрегата во время проведения транспортных работ.

Исследования рабочего тракторно-транспортного агрегата проводится по следующему алгоритму (рисунок 1):

1. Установка инклинометрического приборного комплекса при помощи клейкой ленты либо при помощи болтового соединения на точки идентичные точкам эталонного ТТА: в районе передней оси трактора, на задней оси трактора, на дышле (снице) прицепа, на передней оси прицепа, на задней оси прицепа.

2. Подключение инклинометра к ЭВМ путём установления беспроводной связи Bluetooth или путём проводного подключения кабелем с интерфейсом USB, с включенным фирменным программным обеспечением MINIMU, проверка работоспособности прибора.

3. Калибровка прибора по необходимым параметрам: угол наклона, угловую скорость, магнитное поле и кватернион. Выполняется автоматически при включении прибора, либо при необходимости оператором.

4. Обнуление показаний датчиков инклинометра, необходимо для упрощения обработки данных.

5. Далее выполняется диагностика тракторно-транспортного агрегата по пяти точкам: в районе передней оси трактора, на задней оси трактора, на дышле (снице) прицепа, на передней оси прицепа, на задней оси прицепа. Путём активации кнопки «Begin» в меню «Record» начинается запись данных и выполнение рабочих манипуляций с исследуемым ТТА

6. Записанные данные хранятся на персональном ЭВМ в указанной папке в формате *.txt, данные из формата *.txt для большего удобства переводятся в формат *.xlsx.

7. Из полученных показаний инклинометра, отбираются интересующие параметры в интересующем временном диапазоне.

8. Далее происходит вычисление средних предельных отклонений по осям X, Y и Z.

9. Вычисление коэффициента изменения первоначальной величины тракторно-транспортного агрегата.

10. Определение превышает ли коэффициент изменения первоначальной величины предельно допустимые отклонения.

11. Если предельно допустимые отклонения больше принятых 1,2 условных единицы, то требуется проведение дополнительной диагностики. Если предельно допустимые отклонения меньше принятых 1,2 условных единиц, то ТТА считается исправным и допускается к дальнейшей эксплуатации, согласно пункта 18. В случае если отклонения превысили 1,2 единицы, то проводится дополнительная диагностика по отдельности трактора, дышла прицепа и прицепа в частности.

12. Дополнительное диагностирование трактора проводится по двум точкам: в районе передней оси трактора и задней оси трактора. Далее дополнительное диагностирование проводится соответственно пунктам с 6 по 10.

13. Дополнительное диагностирование дышла проводится по двум точкам: в районе шарнирного соединения и поперечной траверсы дышла. Далее дополнительное диагностирование проводится соответственно пунктам с 6 по 10.

14. Дополнительное диагностирование прицепа проводится по двум точкам: в районе передней оси прицепа и задней оси прицепа. Далее дополнительное диагностирование проводится соответственно пунктам с 6 по 10.

15. Исходя из условий пункта 11, трактор отправляется на ремонт или замену составных элементов.

16. Исходя из условий пункта 11, дышло прицепа отправляется на ремонт или замену составных элементов.

17. Исходя из условий пункта 11, прицеп отправляется на ремонт или замену составных элементов.

18. Исходя из условий пункта 11, трактор, дышло прицепа, прицеп или тракторно-транспортный агрегат в целом проходят ремонт или замену составных частей, либо в случае если отдельные элементы ТТА или сам ТТА считаются исправными, то следует их допуск к эксплуатации.

$A_{ТТА}$ – экспериментальные показатели тракторно-транспортного агрегата;

$B_{ТТА}$ – эталонные показатели тракторно-транспортного агрегата;

$K_{ТТА}$ – коэффициент изменения первоначальной величины показателя тракторно-транспортного агрегата, ($K_{ТТА} = A_{ТТА}/B_{ТТА}$);

$A_{Т}$ – экспериментальные показатели трактора;

$B_{Т}$ – эталонные показатели трактора;

$A_{Д}$ – экспериментальные показатели дышла;

$B_{Д}$ – эталонные показатели дышла;

$A_{П}$ – экспериментальные показатели прицепа;

$B_{П}$ – эталонные показатели прицепа.

Рабочий алгоритм
инклинометрического приборного комплекса
для исследования технического состояния ходовой системы
тракторно-транспортного средства

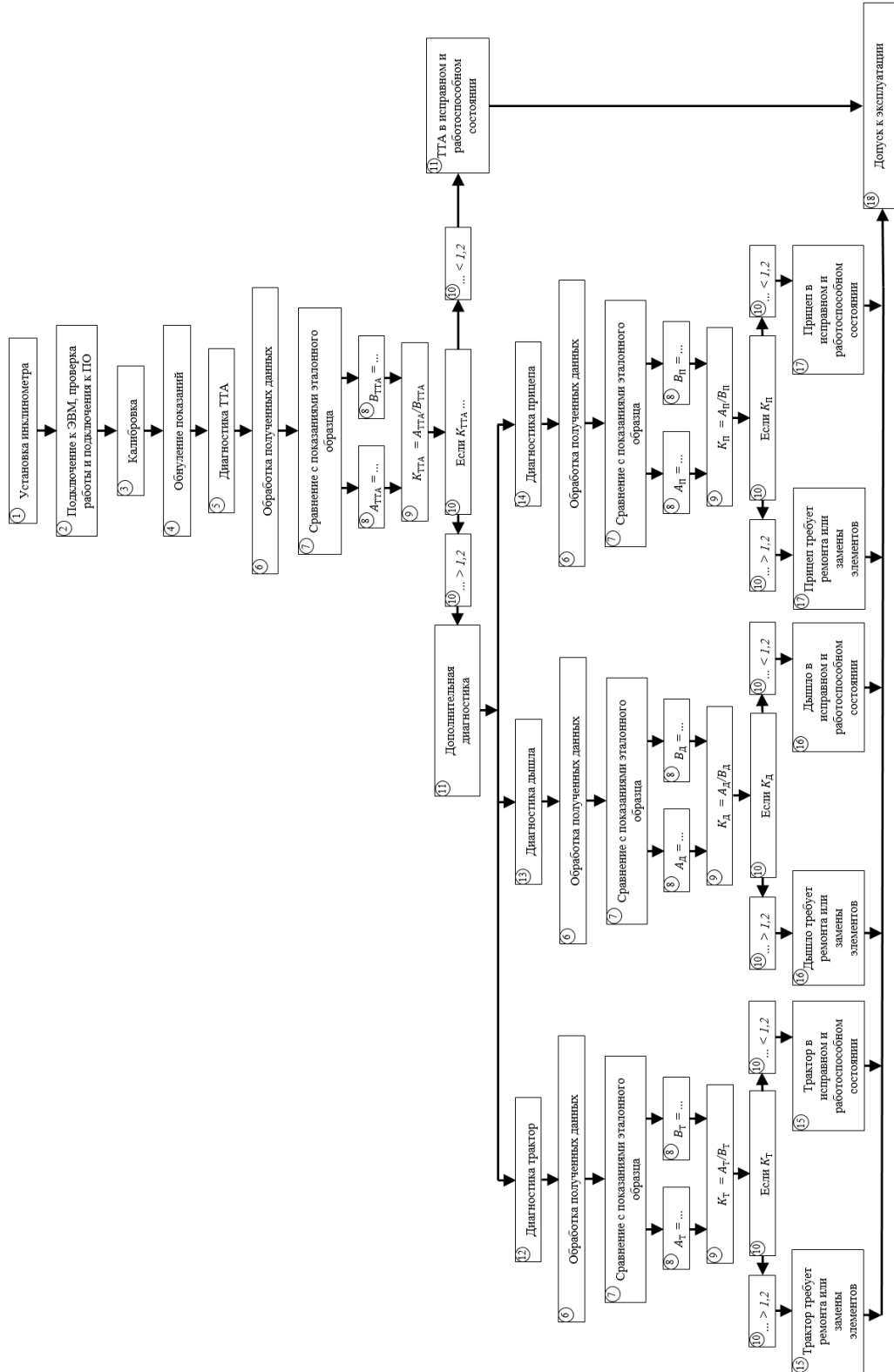


Рисунок 1

Места установки
инклинометрического
приборного комплекса

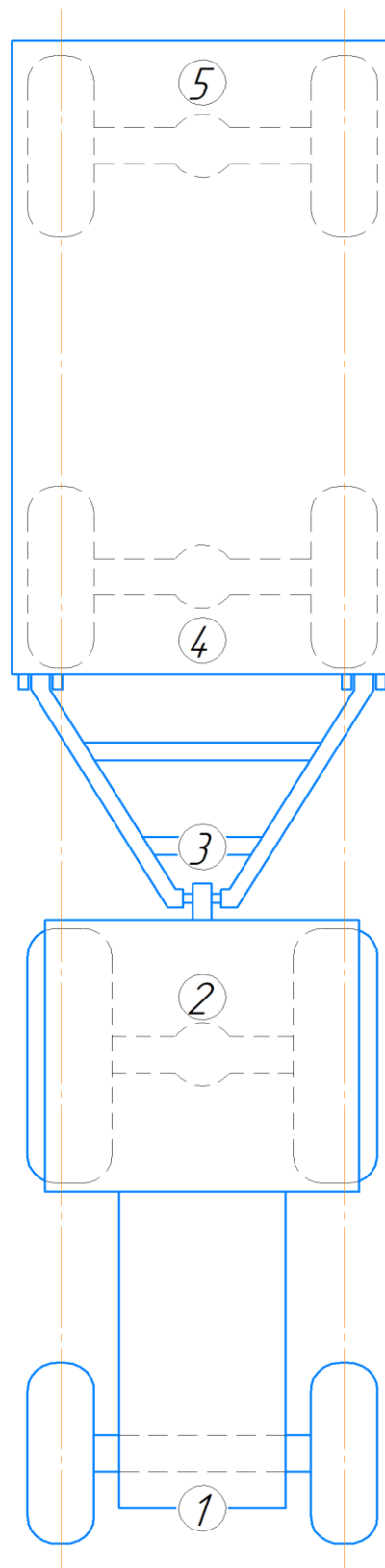


Рисунок 2

Графики и рекомендации полученные при помощи авторского программного обеспечения.

Сравнительные графики эталонного образца с гос. номером 2321 и с гос. номером 6941, рисунок 3-7.

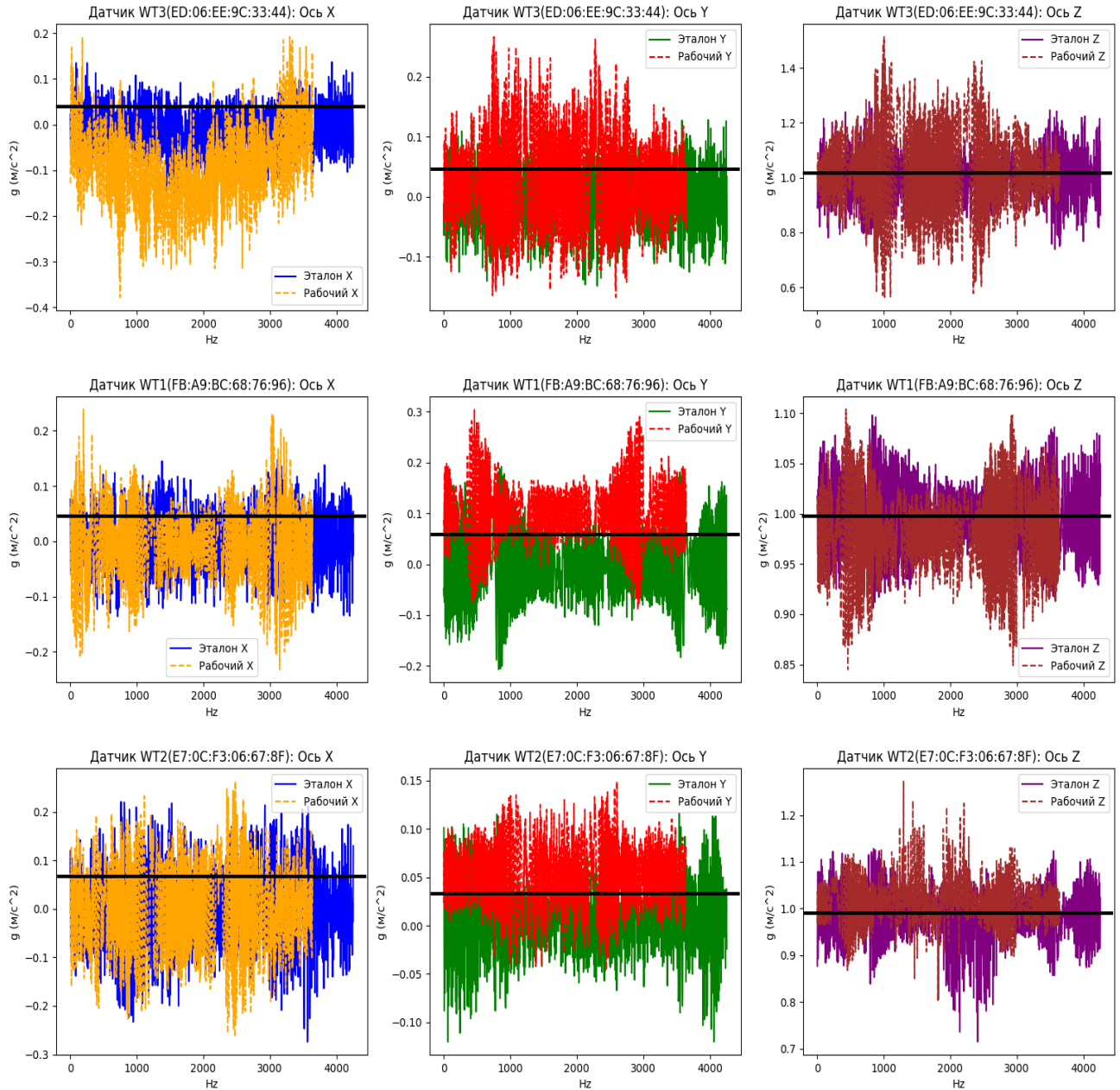


Рисунок 3-Угловое ускорение всех датчиком по трём осям

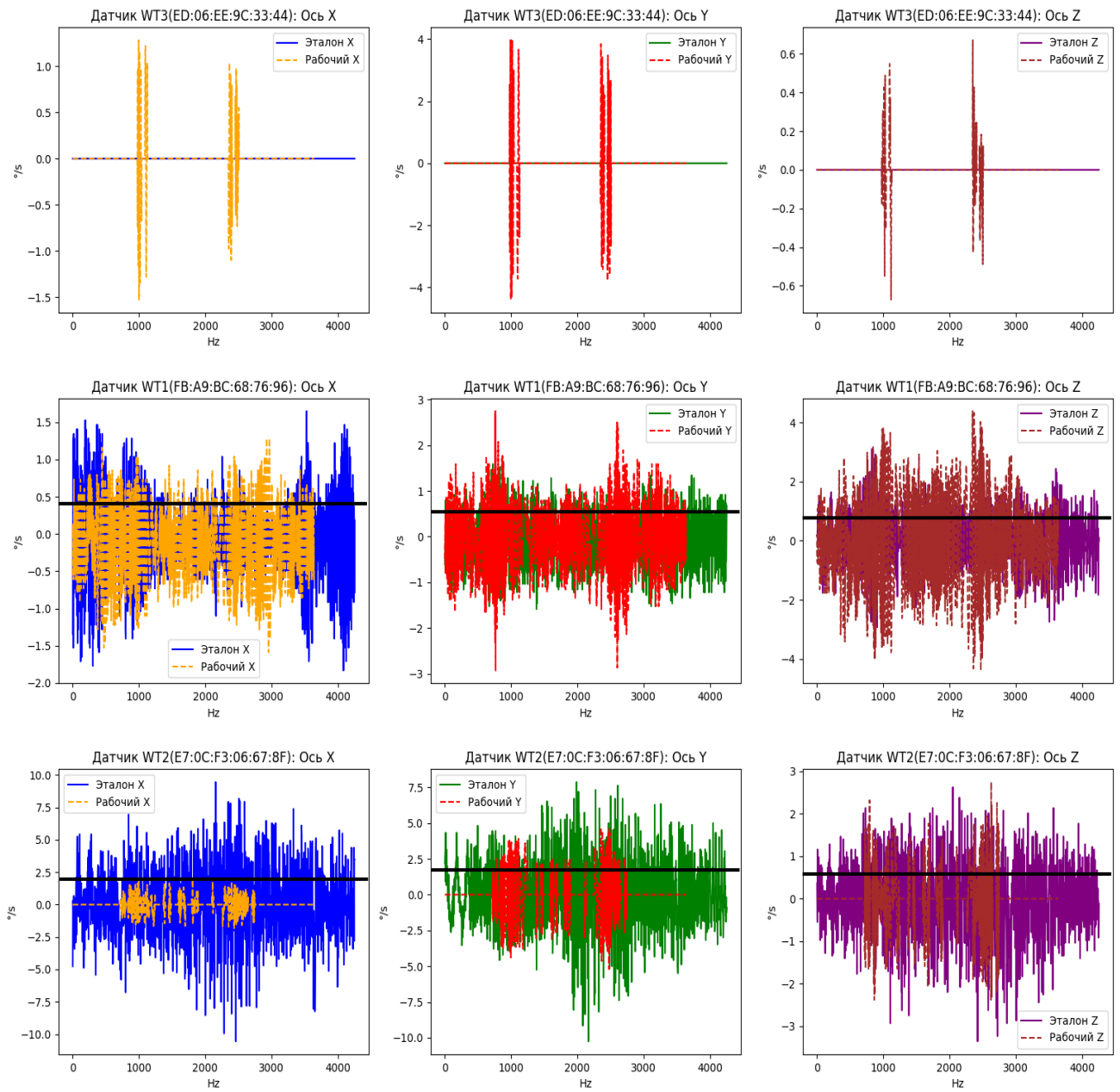


Рисунок 4-Угловая скорость всех датчиком по трём осям

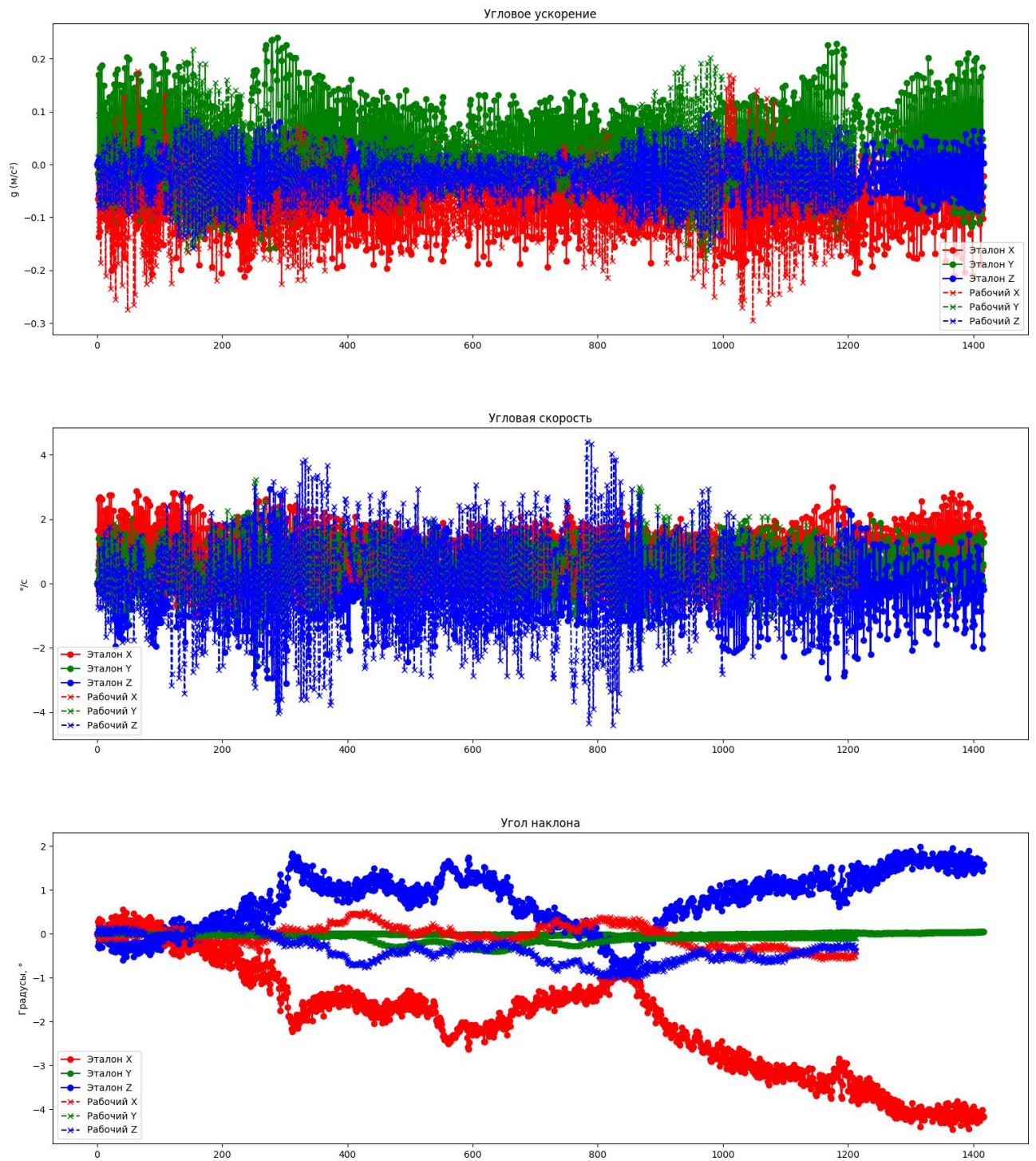


Рисунок 5-Сравнительные графики датчика в точке 1

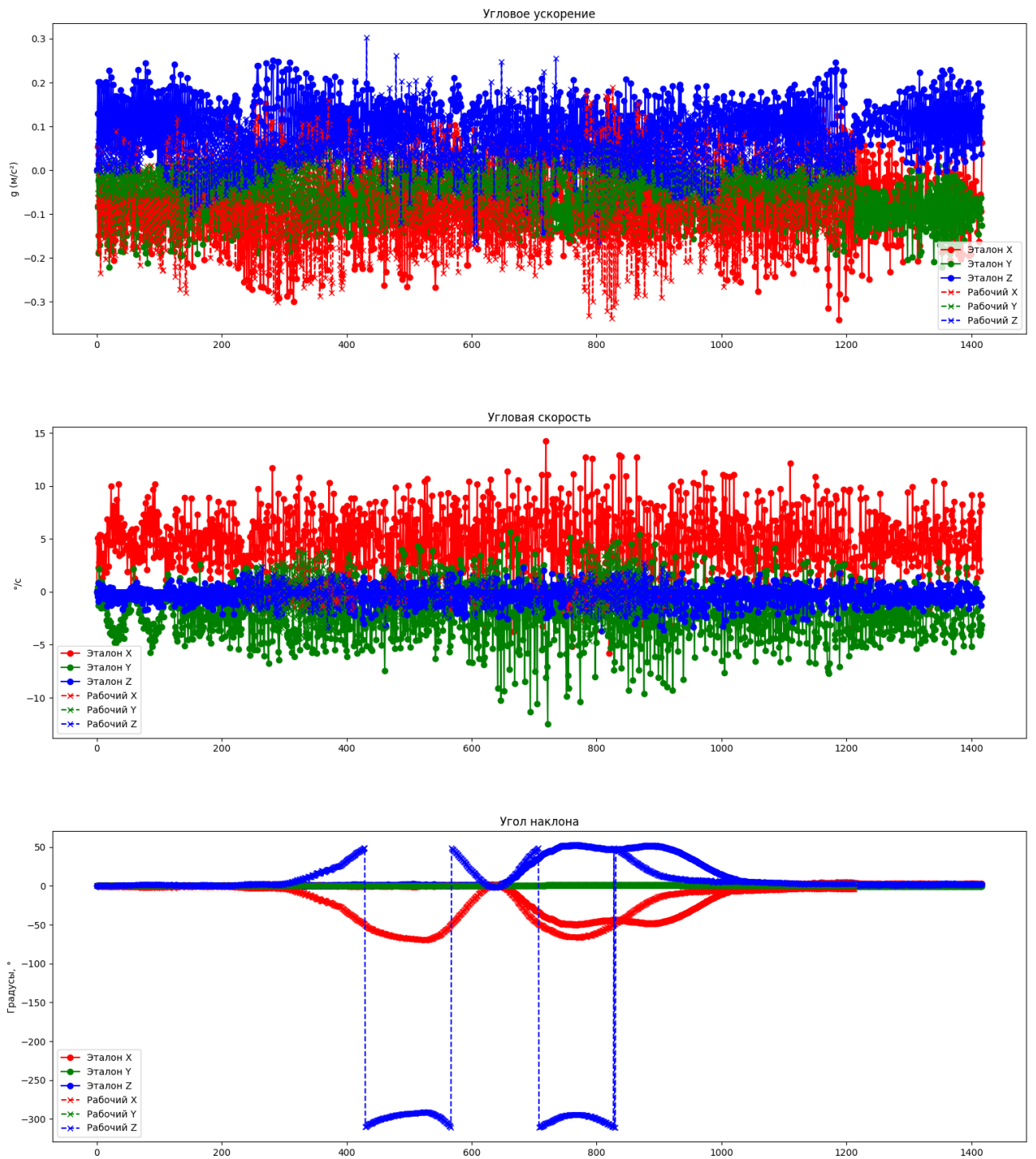


Рисунок 6-Сравнительные графики датчика в точке 2

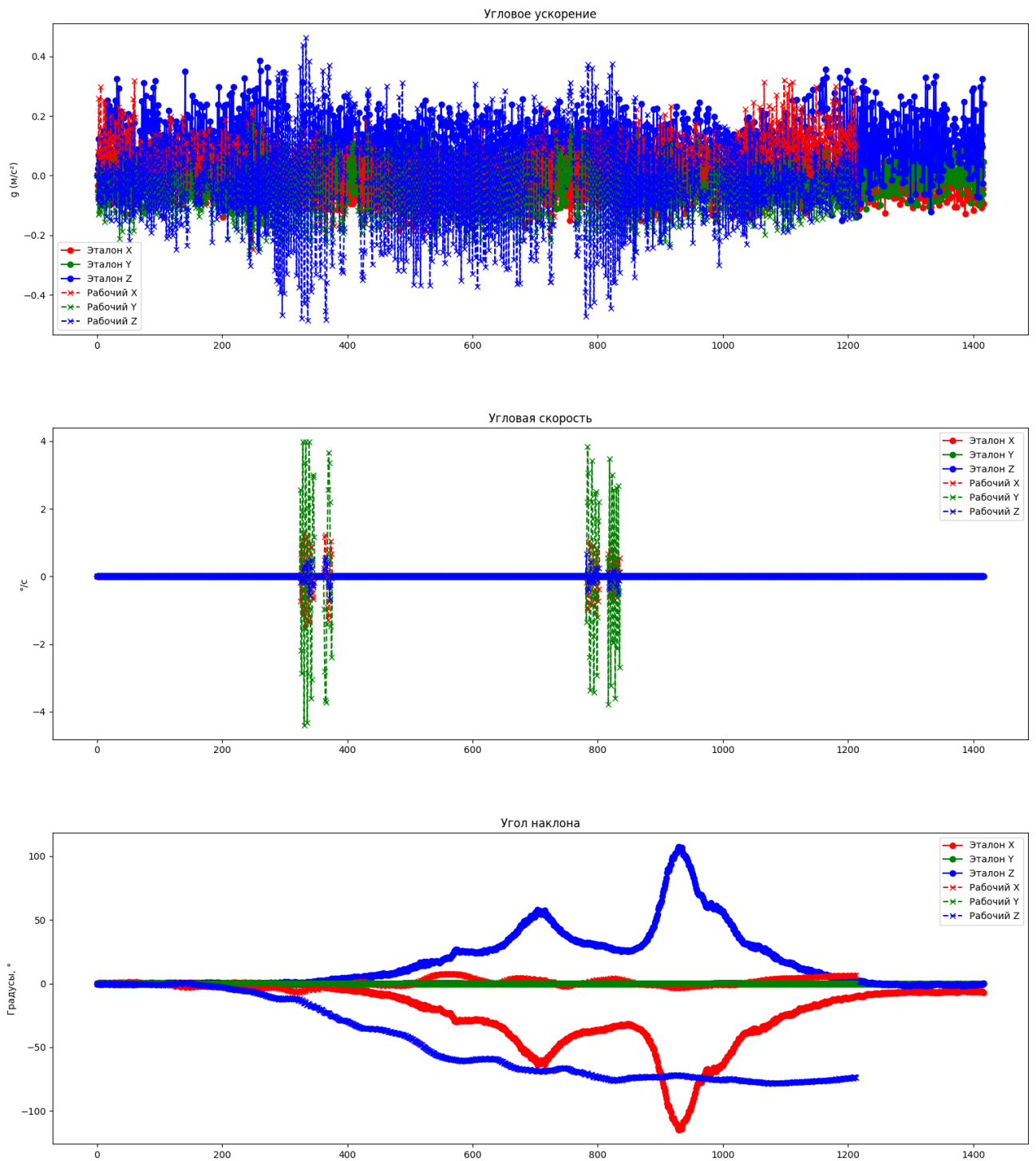


Рисунок 7-Сравнительные графики датчика в точке 3

Сравнительные графики эталонного образца с гос. номером 2321 и с гос. номером 6941 позволяют сформировать рекомендации для трактора с гос. номером 6941, рисунок 8.

Программа для инклинометрической диагностики опор двигателя внутреннего сгорания

Информация

Выбор файлов | **Рекомендации** | Угловое ускорение | Угловая скорость | Датчик WT1(FB:A9:BC:68:76:96) | Датчик WT3(ED:06:EE:9C:33:44) | Датчик WT2(E7:0C:F3:06:67:8F)

Сводка данных по датчикам

Название датчика	Угловое ускорение	Угловая скорость	Рекомендации
WT1(FB:A9:BC:68:76:96)	Эталон: X=0.045, Y=0.059, Z=0.998 Рабочий: X=0.056, Y=0.106, Z=0.979 Коэффициенты: X=1.243, Y=1.797, Z=0.982	Эталон: X=0.417, Y=0.489, Z=0.736 Рабочий: X=0.422, Y=0.612, Z=1.286 Коэффициенты: X=1.011, Y=1.252, Z=1.721	Диапазон коэффициента от 1,15 до +∞ (опасное значение): Аварийное состояние опор. Необходимо немедленно остановить эксплуатацию и провести ремонт или замену компонентов.
WT2(E7:0C:F3:06:67:8F)	Эталон: X=0.070, Y=0.030, Z=0.983 Рабочий: X=0.081, Y=0.054, Z=1.015 Коэффициенты: X=1.149, Y=1.801, Z=1.033	Эталон: X=2.117, Y=1.889, Z=0.678 Рабочий: X=0.216, Y=0.594, Z=0.250 Коэффициенты: X=0.102, Y=0.314, Z=0.368	Диапазон коэффициента от 1,15 до +∞ (опасное значение): Аварийное состояние опор. Необходимо немедленно остановить эксплуатацию и провести ремонт или замену компонентов.
WT3(ED:06:EE:9C:33:44)	Эталон: X=0.040, Y=0.046, Z=1.001 Рабочий: X=0.108, Y=0.067, Z=1.022 Коэффициенты: X=2.703, Y=1.466, Z=1.021	Эталон: X=0.000, Y=0.000, Z=0.000 Рабочий: X=0.038, Y=0.142, Z=0.013 Коэффициенты: X=1.000, Y=1.000, Z=1.000	Диапазон коэффициента от 1,15 до +∞ (опасное значение): Аварийное состояние опор. Необходимо немедленно остановить эксплуатацию и провести ремонт или замену компонентов.

Рисунок 8-Рекомендации авторского программного обеспечения

Точка(датчик) 1 – WT1(FB:A9:BC:68:76:96) – Диапазон коэффициента от 1,15 до +∞ (опасное значение): Аварийное состояние опор. Необходимо немедленно остановить эксплуатацию и провести ремонт или замену компонентов.

Точка(датчик) 2 – WT2(E7:0C:F3:06:67:8F) – Диапазон коэффициента от 1,15 до +∞ (опасное значение): Аварийное состояние опор. Необходимо немедленно остановить эксплуатацию и провести ремонт или замену компонентов.

Точка(датчик) 3 – WT3(ED:06:EE:9C:33:44) – Диапазон коэффициента от 1,15 до +∞ (опасное значение): Аварийное состояние опор. Необходимо немедленно остановить эксплуатацию и провести ремонт или замену КОМПОНЕНТОВ.

Графики составлены при помощи авторского программного обеспечения, запись данных во втором варианте исследования происходила при холостых оборотах 800 об/мин. Представлены сравнительные графики эталонного образца с гос. номером 2321 и с гос. номером 0711, рисунок 9-13

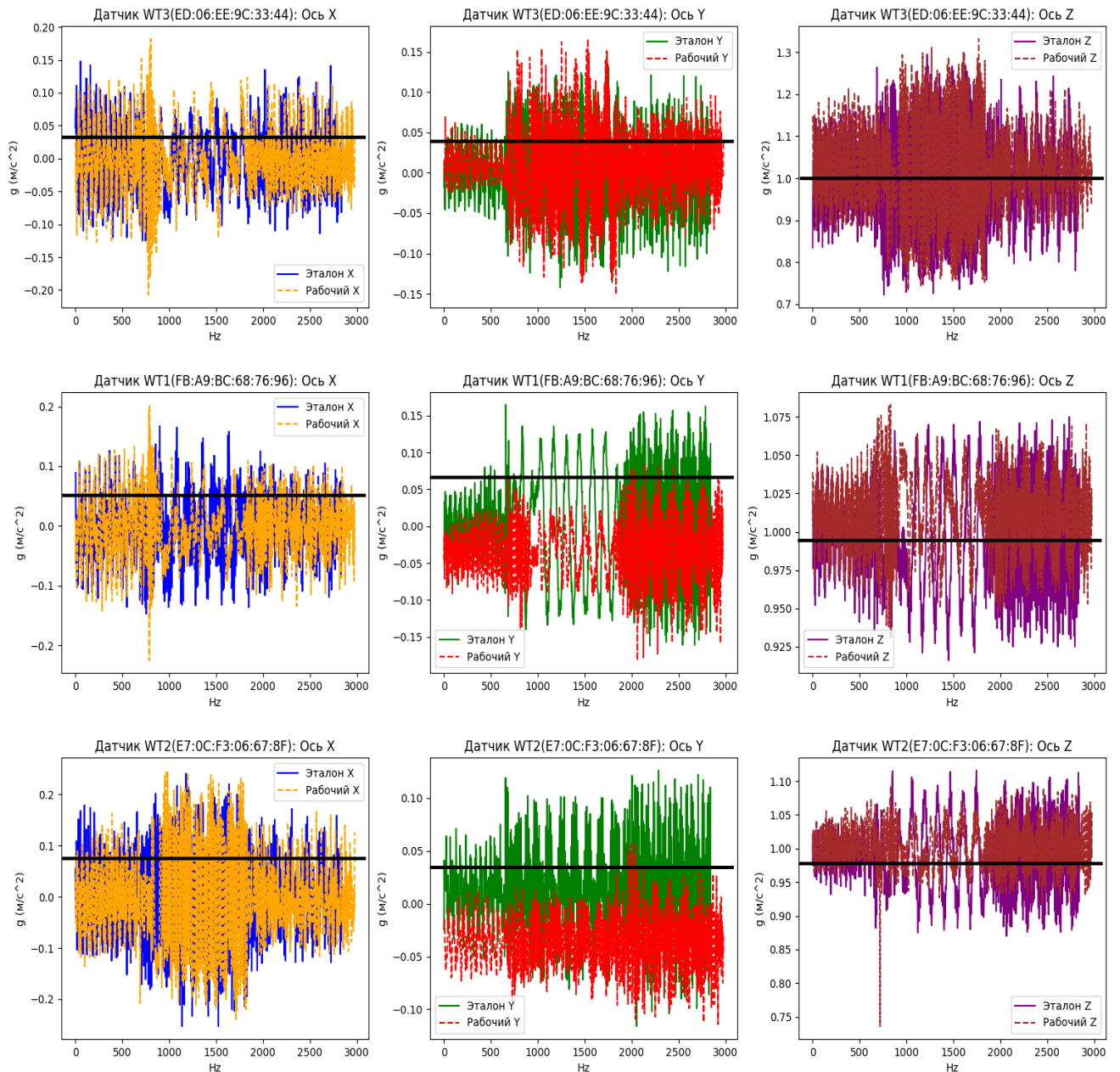


Рисунок 9-Угловое ускорение всех датчиком по трём осям

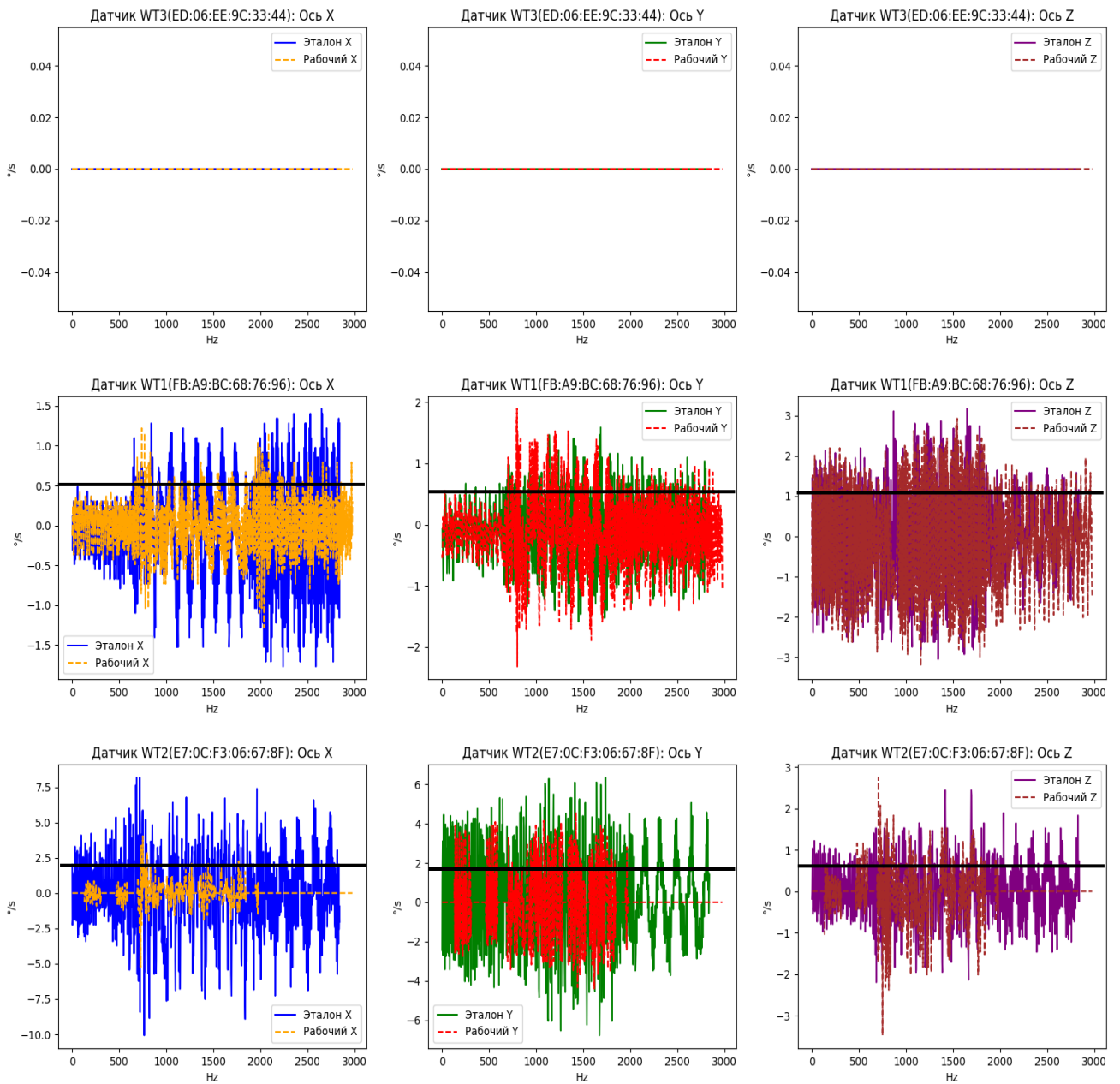


Рисунок 10-Угловая скорость всех датчиком по трём осям

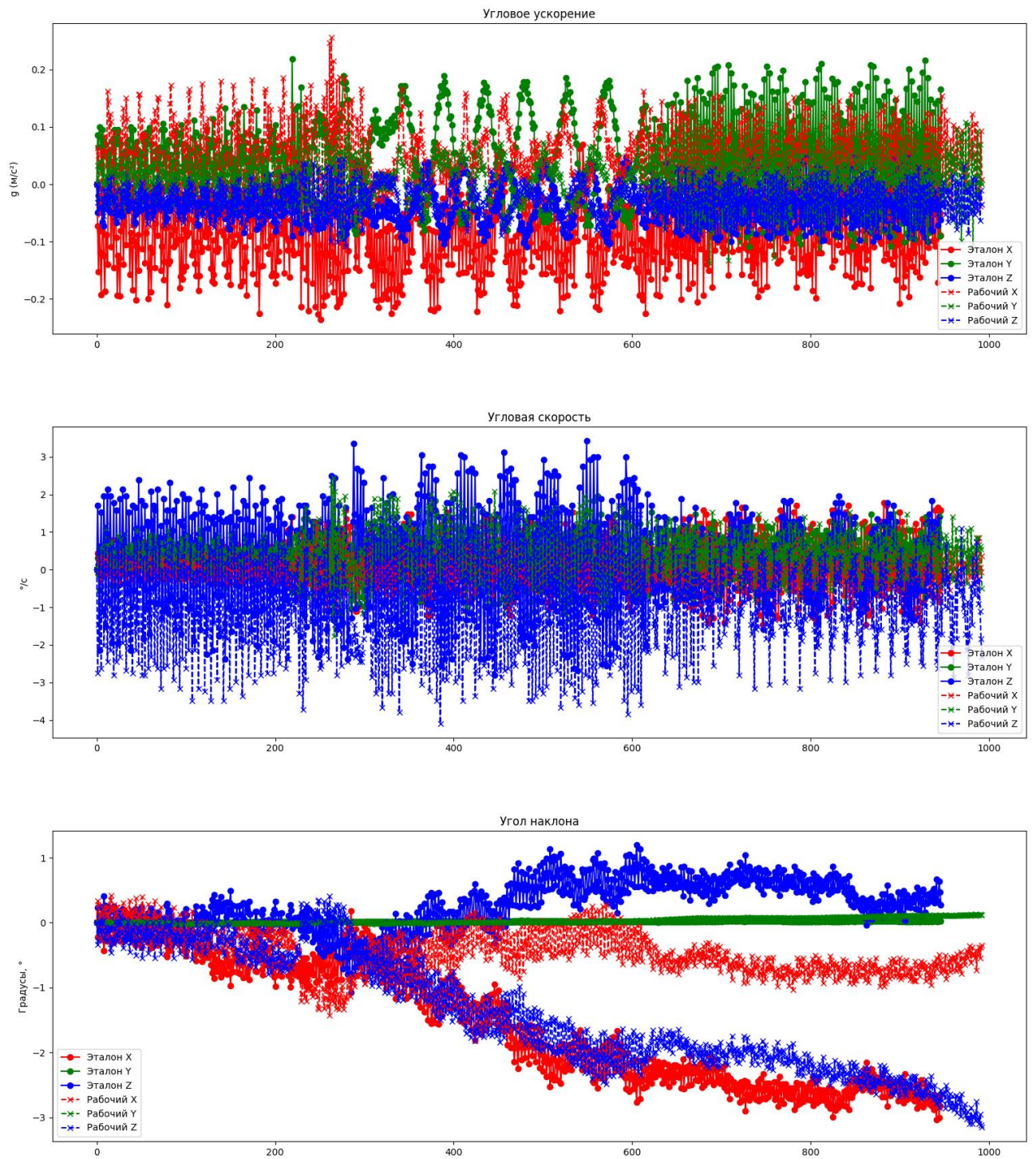


Рисунок 11-Сравнительные графики датчика в точке 1

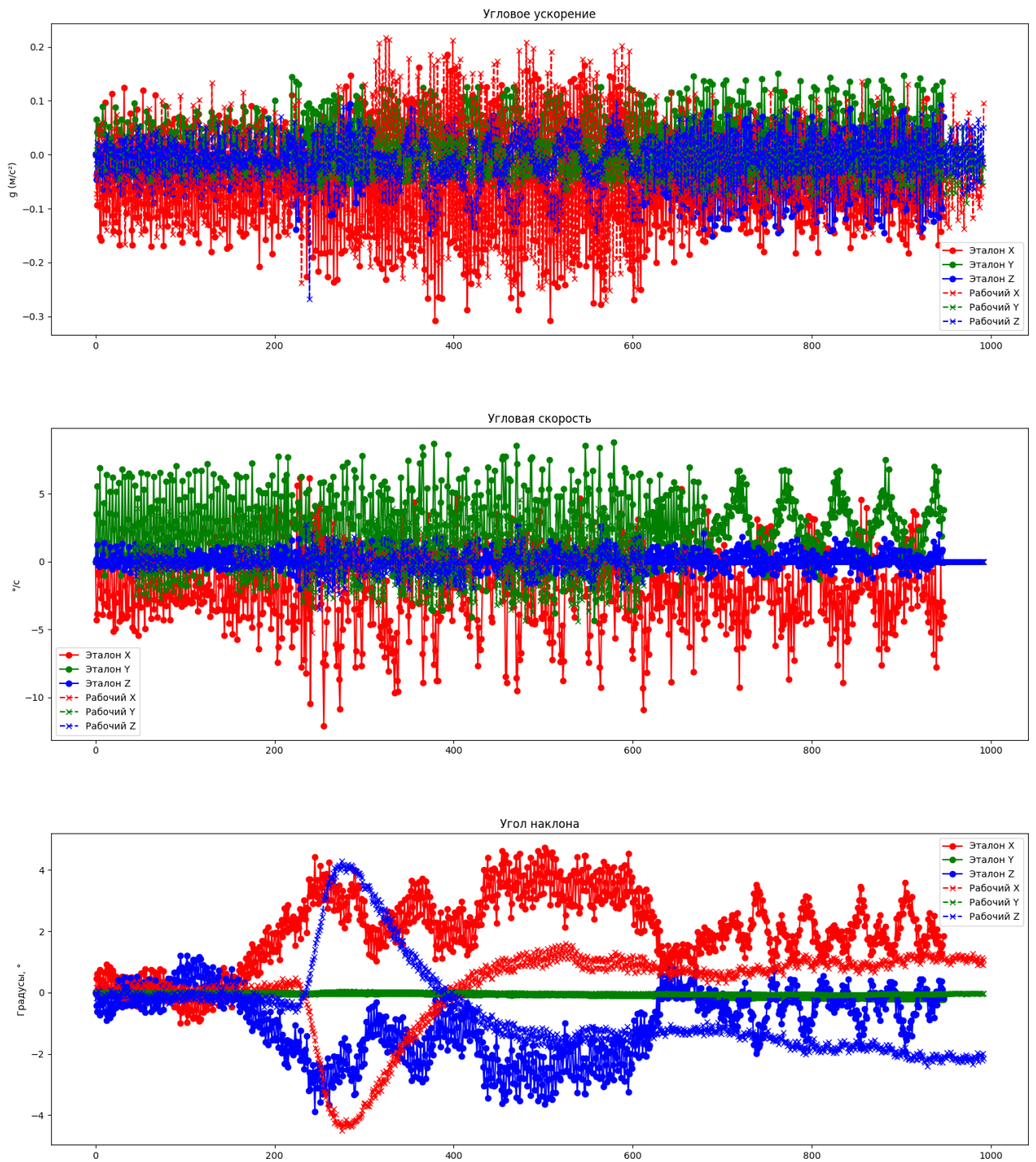


Рисунок 12-Сравнительные графики датчика в точке 2

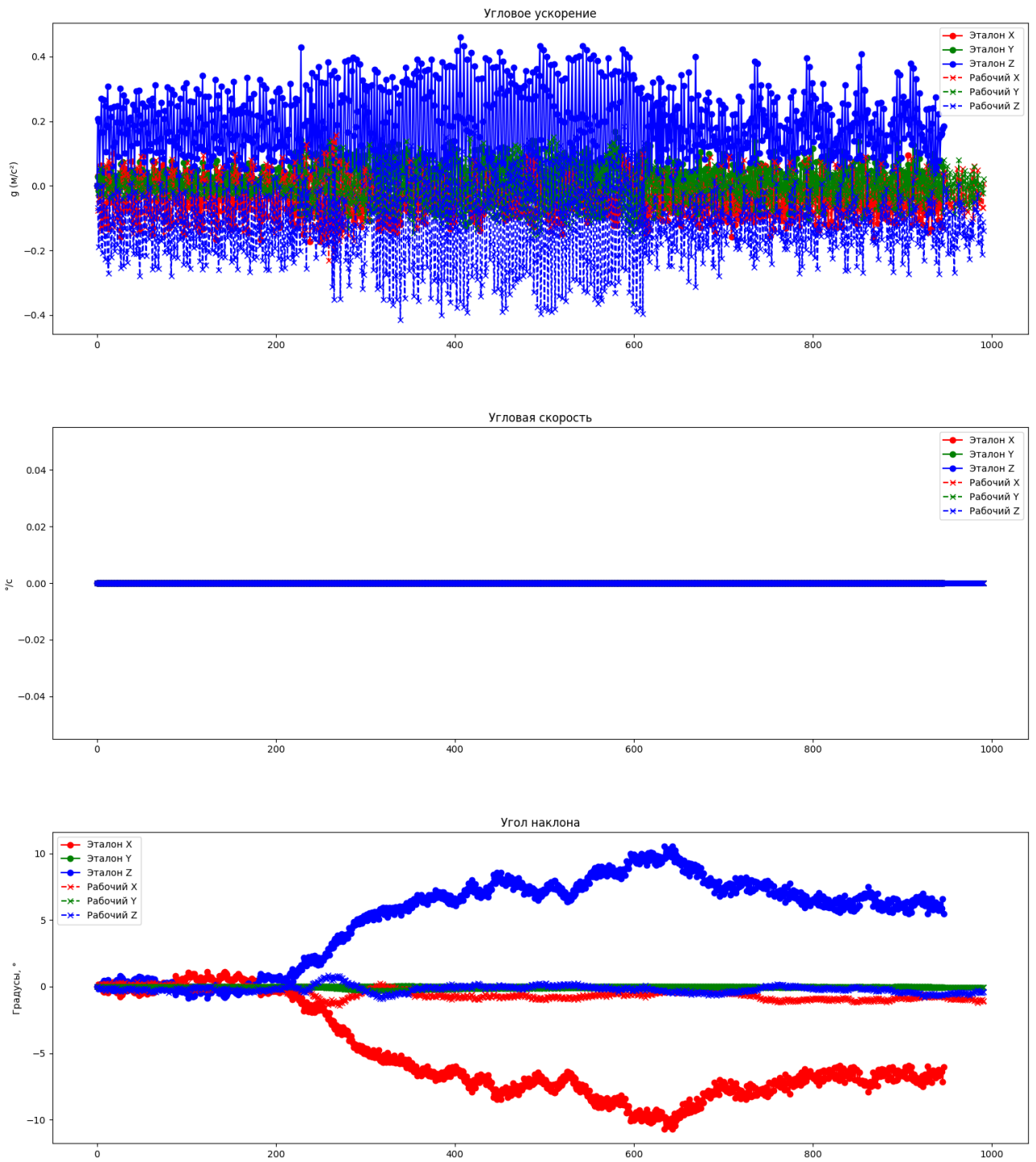


Рисунок 13-Сравнительные графики датчика в точке 3

Сравнительные графики эталонного образца с гос. номером 2321 и с гос. номером 0711 позволяют сформировать рекомендации для трактора с гос. номером 0711, рисунок 14.

Программа для инклинометрической диагностики опор двигателя внутреннего сгорания

Информация

Выбор файлов | **Рекомендации** | Угловое ускорение | Угловая скорость | Датчик WT1(FB:A9:BC:68:76:96) | Датчик WT3(ED:06:EE:9C:33:44) | Датчик WT2(E7:0C:F3:06:67:8F)

Сводка данных по датчикам

Название датчика	Угловое ускорение	Угловая скорость	Рекомендации
WT1(FB:A9:BC:68:76:96)	Эталон: X=0.048, Y=0.063, Z=0.995 Рабочий: X=0.044, Y=0.043, Z=1.010 Коэффициенты: X=0.908, Y=0.689, Z=1.016	Эталон: X=0.503, Y=0.435, Z=1.019 Рабочий: X=0.461, Y=0.461, Z=1.061 Коэффициенты: X=0.523, Y=1.061, Z=1.042	Диапазон коэффициента от 0,85 до 0,90 (критическая погрешность): Критический низкий уровень вибрационной нагрузки. Необходимо прекратить эксплуатацию и провести срочную диагностику опор ДВС.
WT2(E7:0C:F3:06:67:8F)	Эталон: X=0.075, Y=0.038, Z=0.989 Рабочий: X=0.073, Y=0.038, Z=1.002 Коэффициенты: X=0.963, Y=1.009, Z=1.013	Эталон: X=2.240, Y=1.973, Z=0.531 Рабочий: X=0.265, Y=0.144, Z=0.268 Коэффициенты: X=0.118, Y=0.377, Z=0.505	Диапазон коэффициента от 0,95 до 1,00 (условный нижний предел нормы): Коэффициент вибрационной нагрузки в пределах нормы. Значения углового ускорения находятся в допустимом диапазоне.
WT3(ED:06:EE:9C:33:44)	Эталон: X=0.041, Y=0.044, Z=1.000 Рабочий: X=0.041, Y=0.040, Z=1.021 Коэффициенты: X=1.007, Y=0.908, Z=1.021	Эталон: X=0.000, Y=0.000, Z=0.000 Рабочий: X=0.000, Y=0.000, Z=0.000 Коэффициенты: X=1.000, Y=1.000, Z=1.000	Диапазон коэффициента от 0,95 до 1,00 (условный нижний предел нормы): Коэффициент вибрационной нагрузки в пределах нормы. Значения углового ускорения находятся в допустимом диапазоне.

Рисунок 14-Рекомендации авторского программного обеспечения

Точка(датчик) 1 – WT1(FB:A9:BC:68:76:96) – Диапазон коэффициента от 0,85 до 0,90 (критическая погрешность): Критический низкий уровень вибрационной нагрузки. Необходимо прекратить эксплуатацию и провести срочную диагностику опор ДВС.

Точка(датчик) 2 – WT2(E7:0C:F3:06:67:8F) – Диапазон коэффициента от 0,95 до 1,00 (условный нижний предел нормы): Коэффициент вибрационной нагрузки в пределах нормы. Значения углового ускорения находятся в допустимом диапазоне.

Точка(датчик) 3 – WT3(ED:06:EE:9C:33:44) – Диапазон коэффициента от 0,95 до 1,00 (условный нижний предел нормы): Коэффициент вибрационной нагрузки в пределах нормы. Значения углового ускорения находятся в допустимом диапазоне.

Сравнительные графики эталонного образца с гос. номером 2321 и с гос. номером 6941 рисунок 15-19.

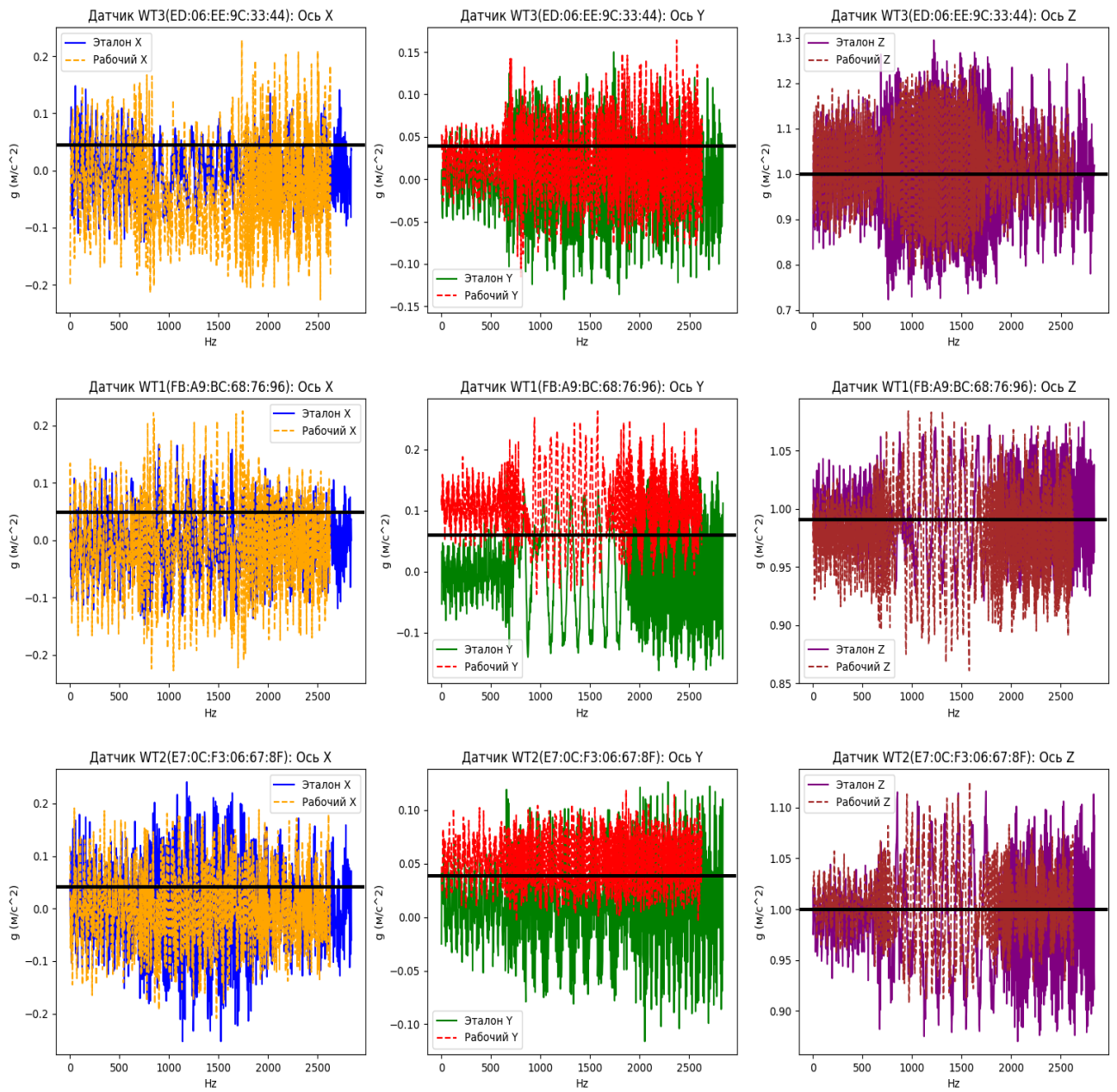


Рисунок 15-Угловое ускорение всех датчиком по трём осям

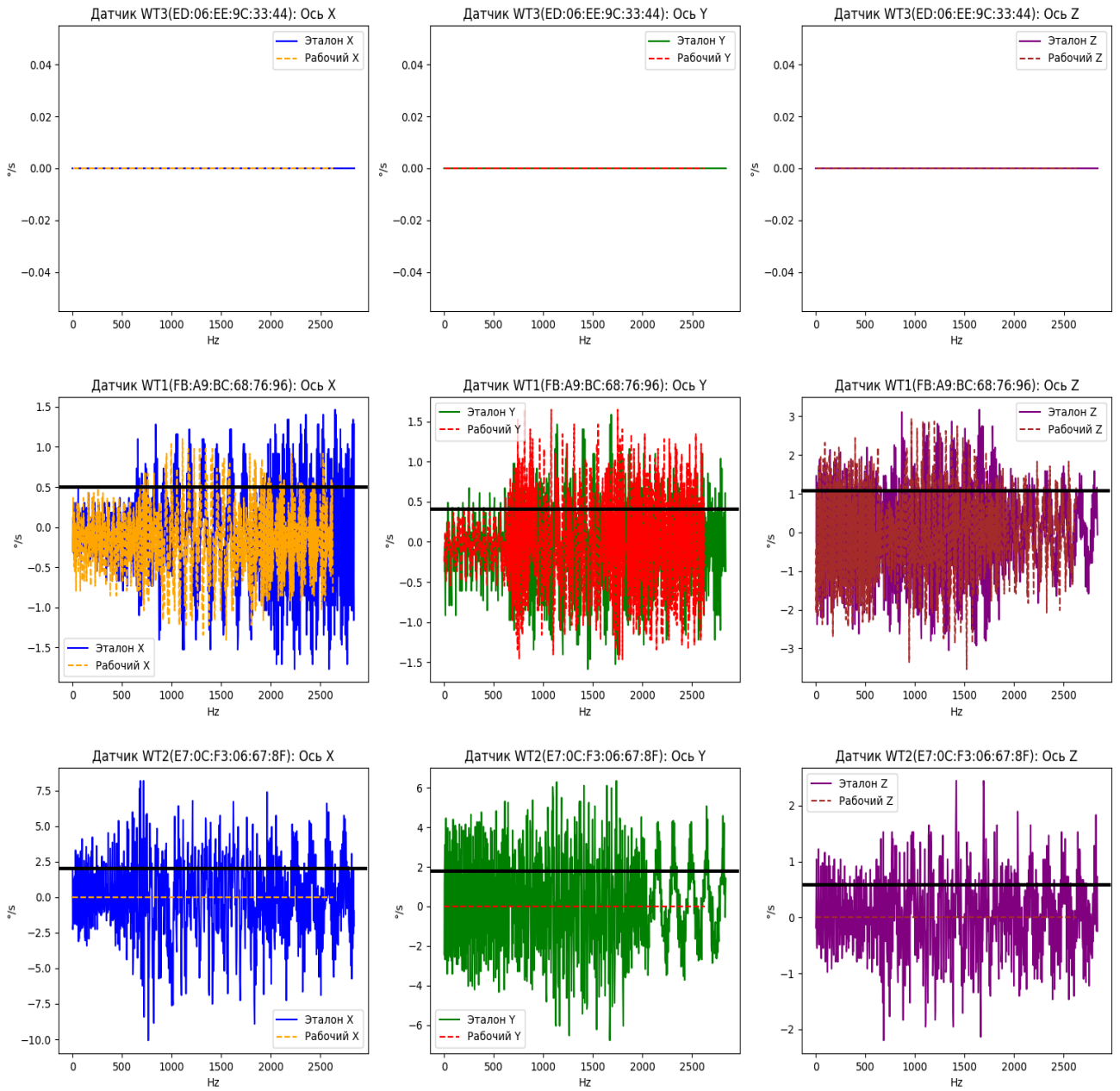


Рисунок 16-Угловая скорость всех датчиком по трём осям

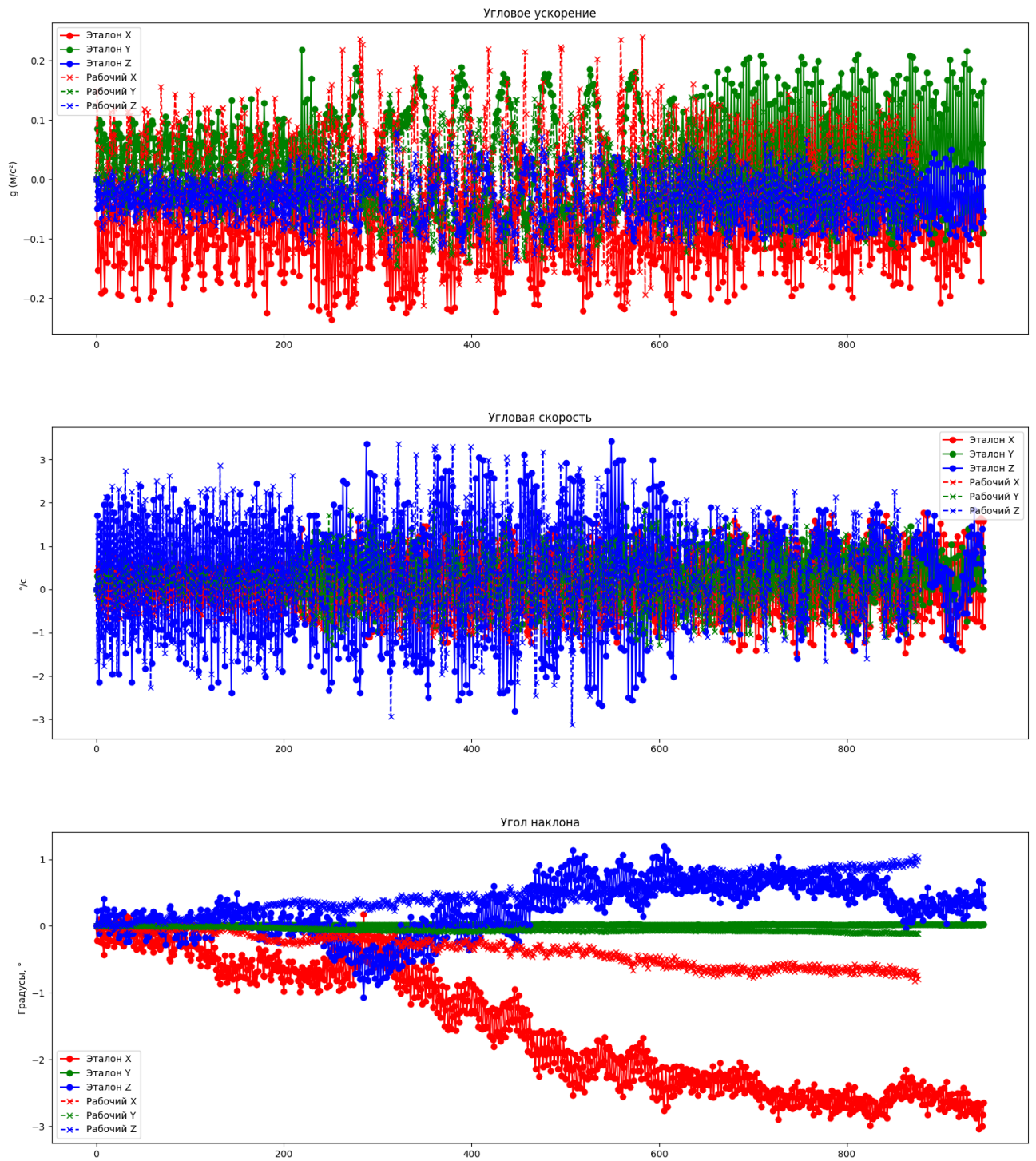


Рисунок 17-Сравнительные графики датчика в точке 1

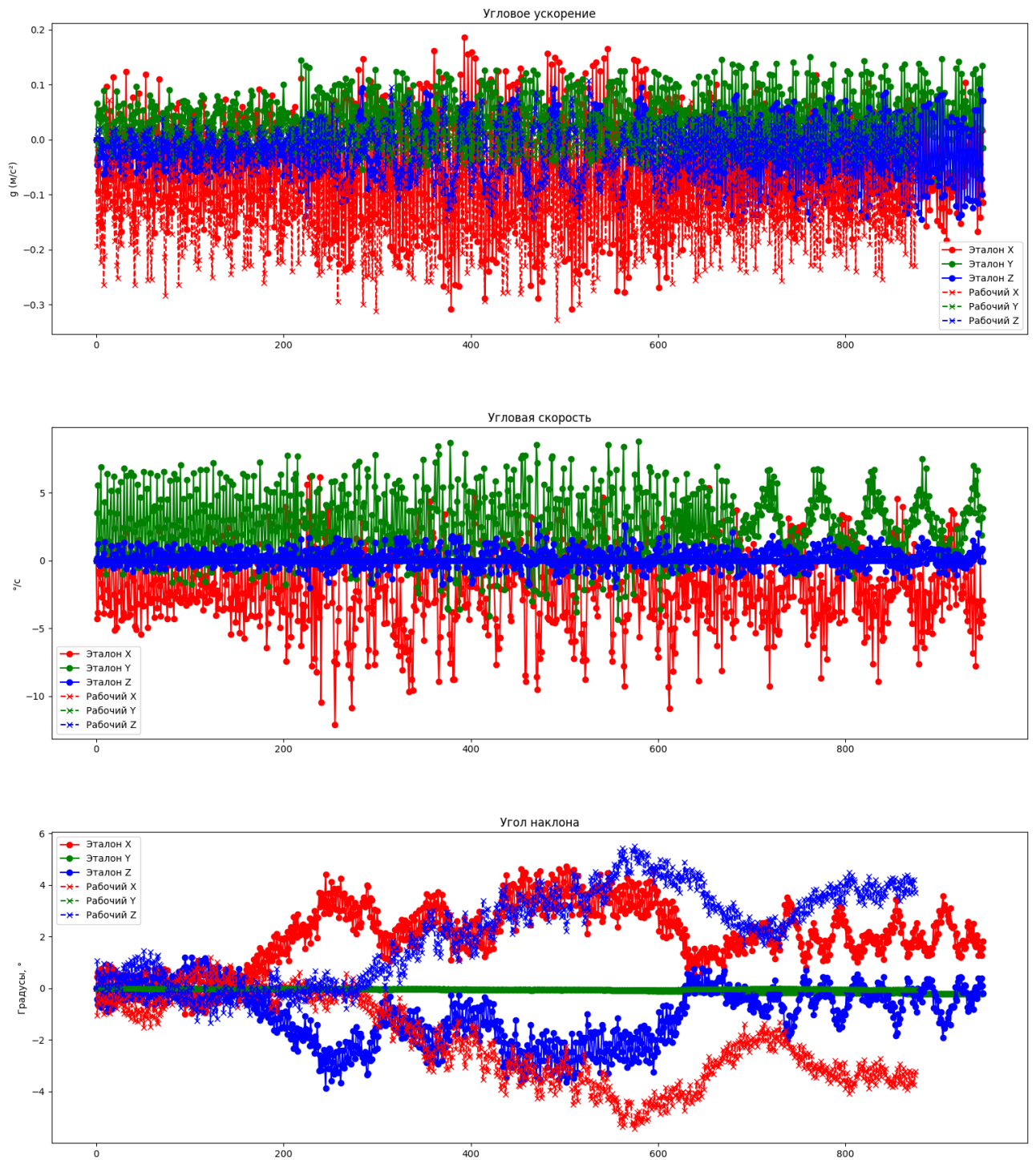


Рисунок 18-Сравнительные графики датчика в точке 2

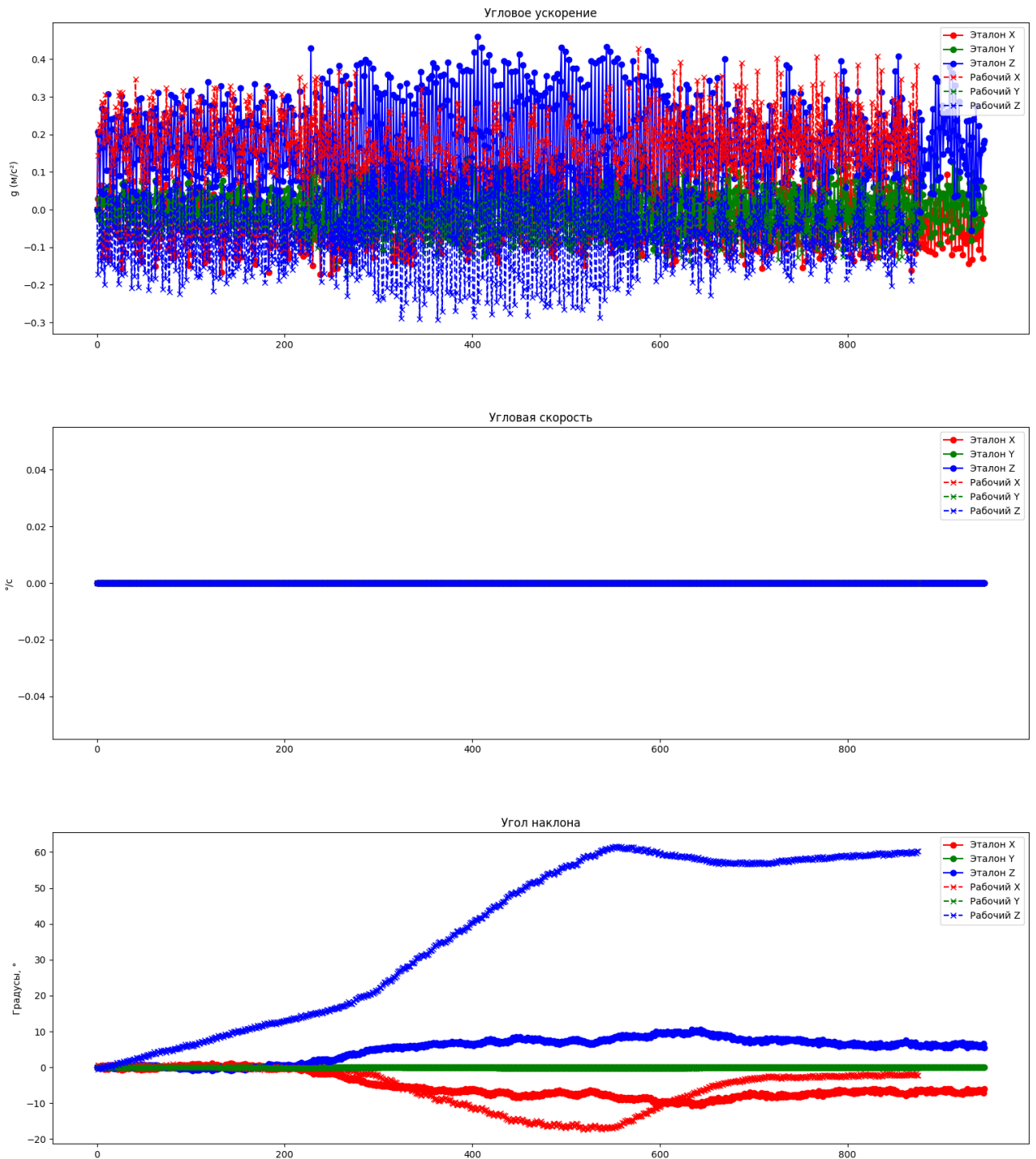


Рисунок 19-Сравнительные графики датчика в точке 3

Сравнительные графики эталонного образца с гос. номером 2321 и с гос. номером 6941 позволяют сформировать рекомендации для трактора с гос. номером 6941, рисунок 20.

Программа для инклинометрической диагностики опор двигателя внутреннего сгорания

Информация

Выбор файлов | **Рекомендации** | Угловое ускорение | Угловая скорость | Датчик WT1(FB:A9:BC:68:76:96) | Датчик WT3(ED:06:EE:9C:33:44) | Датчик WT2(E7:0C:F3:06:67:8F)

Сводка данных по датчикам

Название датчика	Угловое ускорение	Угловая скорость	Рекомендации
WT1(FB:A9:BC:68:76:96)	Эталон: X=0.048, Y=0.063, Z=0.995 Рабочий: X=0.067, Y=0.107, Z=0.979 Коэффициенты: X=1.397, Y=1.699, Z=0.984	Эталон: X=0.503, Y=0.435, Z=1.019 Рабочий: X=0.373, Y=0.450, Z=0.894 Коэффициенты: X=0.741, Y=1.036, Z=0.877	Диапазон коэффициента от 1,15 до +∞ (опасное значение): Аварийное состояние опор. Необходимо немедленно остановить эксплуатацию и провести ремонт или замену компонентов.
WT2(E7:0C:F3:06:67:8F)	Эталон: X=0.075, Y=0.038, Z=0.989 Рабочий: X=0.065, Y=0.053, Z=1.005 Коэффициенты: X=0.865, Y=1.398, Z=1.017	Эталон: X=2.240, Y=1.973, Z=0.531 Рабочий: X=0.000, Y=0.000, Z=0.000 Коэффициенты: X=0.000, Y=0.000, Z=0.000	Диапазон коэффициента от 1,05 до 1,10 (требует внимания): Легкое отклонение от нормы. Проверьте общее состояние опор ДВС, креплений и состояние узлов. Рекомендуется ранняя диагностика.
WT3(ED:06:EE:9C:33:44)	Эталон: X=0.041, Y=0.044, Z=1.000 Рабочий: X=0.073, Y=0.042, Z=1.015 Коэффициенты: X=1.796, Y=0.960, Z=1.016	Эталон: X=0.000, Y=0.000, Z=0.000 Рабочий: X=0.000, Y=0.000, Z=0.000 Коэффициенты: X=1.000, Y=1.000, Z=1.000	Диапазон коэффициента от 1,15 до +∞ (опасное значение): Аварийное состояние опор. Необходимо немедленно остановить эксплуатацию и провести ремонт или замену компонентов.

Рисунок 20-Рекомендации авторского программного обеспечения

Точка(датчик) 1 – WT1(FB:A9:BC:68:76:96) – Диапазон коэффициента от 1,15 до +∞ (опасное значение): Аварийное состояние опор. Необходимо немедленно остановить эксплуатацию и провести ремонт или замену компонентов.

Точка(датчик) 2 – WT2(E7:0C:F3:06:67:8F) – Диапазон коэффициента от 1,05 до 1,10 (требует внимания): Легкое отклонение от нормы. Проверьте общее состояние опор ДВС, креплений и состояние узлов. Рекомендуется углублённая диагностика.

Точка(датчик) 3 – WT3(ED:06:EE:9C:33:44) – Диапазон коэффициента от 1,15 до +∞ (опасное значение): Аварийное состояние опор. Необходимо немедленно остановить эксплуатацию и провести ремонт или замену компонентов.